

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
INSTITUT ENVIRONMENTÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Výzkum flokulačních činidel při úpravě odpadní vody na ČOV Hlučín

**Research of flocculation agents for the treatment of waste water from ČOV
Hlučín**

diplomová práce

Autor:

Bc. Lucie Kolodějová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Nikolas Mucha, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lucie Kolodějová**

Studijní program: N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 3904T022 Zpracování a zneškodňování odpadů

Téma: **Výzkum flokulačních činidel při úpravě odpadní vody na ČOV Hlučín**
Research of Flocculation Agents for the Treatment of Waste Water from ČOV Hlučín

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a význam řešeného úkolu
2. Popis teorie zahušťování suspenze pomocí flokulačních činidel
3. Realizace laboratorních flokulačních testů s různými typy flokulantů
4. Zhodnocení výsledků
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. FEČKO, P.; PEČTOVÁ, I.; RIEDLOVÁ, S.; POKORNÁ, E.: Selektivná flokulácia čiernouhelných kalov, VŠB-TU Ostrava, 2001.
2. FEČKO, P.: Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů, VŠB-TUO, 2001, 149 s. ISBN 80-7078-921-2.
3. JURMAN, J.; VRBICKÝ, J.: Možnosti vzájemného porovnání rozpojitelosti při různých způsobech dispergace, VŠB-TU Ostrava, 1994.
4. Provozní dokumentace
5. RALSTON, J.; MILLER, J.; RUBIO, J.: Flotation and flocculation from fundamentals to applications. Medindie: Snap Printing, 2003. 374 s. ISBN 0-9581414-0-1.
6. Vyhlášky města a kraje.
7. Odborné časopisy.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Nikolas Mucha, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2011

Datum odevzdání: 30.04.2012

prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 15.04.2012



.....
Bc. Lucie Kolodějová

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala paní Heleně Kubinové z ČOV Hlučín za její vstřícnost a ochotu a Ing. Nikolasi Muchovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za cenné rady a připomínky, které mi během zpracování práce poskytoval.

Anotace

Diplomová práce se zaměřuje na výzkum flokulačních činidel při úpravě odpadní vody na ČOV Hlučín. V první části je popsána teorie zahušťování suspenze pomocí flokulačních činidel. Následně je popsána čistírenská linka. Praktická část je zaměřena na experimentální ověření účinků vybraných flokulačních činidel na přebytečném kalu z ČOV Hlučín.

Klíčová slova: flokulace, koagulace, úprava odpadní vody, zahušťování kalů

Summary

This thesis focuses on the research of flocculation agents for the treatment of waste water from ČOV Hlučín. The first part describes the theory of thickening suspension by flocculation agents. Subsequently, the waste water treatment plant is described. The practical part is focused on experimental verification of the effects of selected agents of the flocculation on excess sludge from the ČOV Hlučín.

Keywords: flocculation, coagulation, waste water treatment, sludge thickening

Obsah:

1. Úvod a cíl práce.....	- 1 -
2. Zahušťování suspenze	- 2 -
2.1. Elektrická dvojvrstva a zeta potenciál	- 2 -
2.2. Destabilizace koloidních systémů	- 4 -
2.2.1. Destabilizace pomocí elektrolytů	- 4 -
2.2.2. Destabilizace pomocí opačně nabitých solí	- 5 -
2.2.3. Destabilizace pomocí molekulárních koloidů	- 5 -
3. Koagulace a Flokulace	- 6 -
3.1. Flokulace	- 7 -
3.1.1. Faktory ovlivňující flokulaci	- 7 -
3.2. Flokulační činidla	- 8 -
3.2.1. Elektrolyty	- 8 -
3.2.2. Povrchově aktivní látky	- 8 -
3.2.3. Makromolekulární látky	- 9 -
3.3. Příprava roztoků a dávkování	- 12 -
3.4. Možnosti použití organických flokulantů	- 13 -
4. Čistírna odpadních vod Hlučín - Jasénky	- 15 -
4.1. Mechanické předčištění	- 16 -
4.1.1. Česle	- 16 -
4.1.2. Lapáky písku	- 16 -
4.1.3. Primární sedimentace	- 17 -
4.2. Biologické čištění	- 17 -
4.2.1. Mikroorganismy aktivovaného kalu	- 18 -
4.2.2. Nitrifikace a denitrifikace	- 19 -
4.2.3. Dosazovací nádrž	- 20 -
4.3. Zpracování kalů	- 20 -
4.3.1. Stabilizace a hygienizace kalů	- 21 -
4.3.2. Zahušťování kalů	- 23 -
4.3.3. Odvodňování kalů	- 25 -
5. Praktická část	- 27 -
5.1. Metodika a postup	- 27 -
5.2. Průběh sedimentačních testů	- 28 -
5.2.1. Flokulační činidlo Praestol 852BC	- 28 -
5.2.2. Flokulační činidlo Praestol 2515	- 30 -
5.2.3. Flokulační činidlo Praestol K232L	- 31 -
5.2.4. Flokulační činidlo Praestol 2935/74	- 33 -
5.2.5. Flokulační činidlo Praestol 852BC	- 35 -
5.2.6. Flokulační činidlo Praestol 2515	- 37 -
5.2.7. Flokulační činidlo Praestol K232L	- 40 -
5.2.8. Flokulační činidlo Praestol 2935/74	- 41 -
5.3. Vyhodnocení výsledků	- 43 -
6. Závěr	- 52 -
Seznam použité literatury	- 53 -
Seznam obrázků	- 56 -
Seznam grafů	- 57 -
Seznam tabulek	- 58 -

1. Úvod a cíl práce

Voda spolu se zemskou atmosférou tvoří základní podmínky pro život na Zemi. Tvoří těla živých organismů a pokrývá většinu zemského povrchu. Voda hraje důležitou roli jak v průmyslu, tak v domácnostech. Odedávna považovali lidé vodu za dar přírody, který nic nestojí a je nevyčerpatelný. V dnešní době už víme, že zásoby vody nejsou nekonečné a její spotřeba stále roste s růstem počtu obyvatel, zvyšováním životní úrovně a rozvojem průmyslu a zemědělství. Vyčerpanost podzemních zdrojů vod vede k tomu, že se lidé také obracejí k povrchovým vodám.

Přírodní povrchové vody obsahují částice organického a anorganického původu. Z anorganických to jsou hlína, bahno a minerální oxidy. Z organických pak viry, bakterie, řasy, cysty prvoků a zbytky smetí, které spadlo do vodního zdroje. Dále povrchové vody budou obsahovat malé koloidní a rozpuštěné organické složky jako jsou organické kyseliny a produkty rozkladu a vyluhování organických nečistot. Tyto nečistoty mohou snižovat průhlednost vody, změnit její barvu a zvýšit přítomnost infekčních látek. Proto je odstranění těchto látek nezbytné. Nejběžnější metoda k odstranění pevných částic a rozpuštěných organických látek z povrchových vod je sedimentace a filtrace po úpravě vody koagulací a flokulací.

Odpadní voda vzniká zhoršením kvality vody lidskou činností. Znečištěná voda může obsahovat choroboplodné nebo patogenní mikroorganismy, proto je nutné tuto vodu čistit – recyklovat. Recyklace vody se provádí na čistírnách odpadních vod. Čistírny mají jako hlavní cíl dosáhnout takového vyčištění, aby mohla být nezávadná vrácena do recipientu. Musí se ovšem hledět i na ekonomickou stránku čištění [1], [2].

Cílem této diplomové práce je výzkum flokulačních činidel při úpravě odpadní vody na ČOV Hlučín. Flokulační činidla používána pro zahušťování jsou velice drahá, proto jsem se rozhodla laboratorně otestovat, zda by nebylo ekonomičtější a efektivnější použít jiné flokulační činidlo, než dosud používané Prestol K232L.

2. Zahušťování suspenze

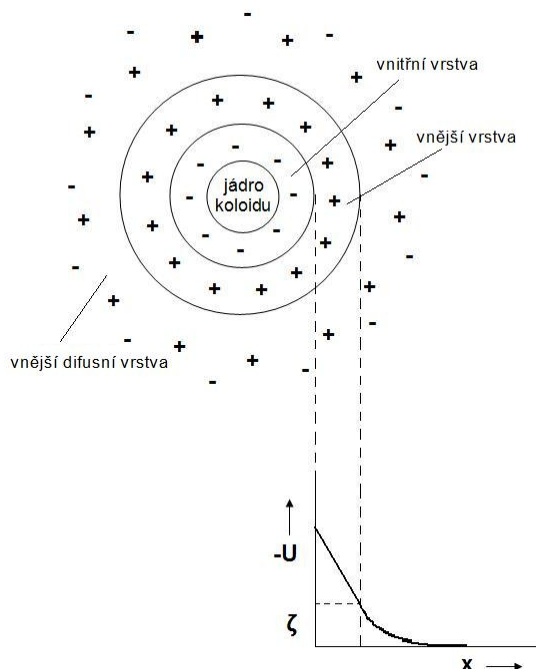
Proces zahušťování spočívá v oddělení tuhých částic ze rmutu. Tyto částice se působením gravitační síly usazují na dně zahušťovacího prostoru, ze kterého se odebírají. Voda přetéká přes horní okraj. V procesu zahušťování nedochází k úplnému odvodnění ani k úplnému vyčeření čisté vody. Účinnost zahuštění závisí na zrnitosti rmutu, použitém zařízení a na použitých chemických činidel. Nejrozšířenějším způsobem zahušťování je sedimentace [3], [4].

Při sedimentaci dochází k oddělení tuhé a kapalně fáze v důsledku usazování tuhých částic v kapalině. K tomu dochází u suspenzí, které se označují jako kineticky nestálé a kde se velikost dispergovaných částic pohybuje od hodnoty $1\mu\text{m}$ výše. Suspenze, ve kterých jsou rozptýlené částice tuhé fáze menší než $1\mu\text{m}$ ($1\text{nm} - 1\mu\text{m}$), jsou kineticky stálé a nedochází v nich k sedimentaci bez vyvolání fyzikálně chemického procesu shlukování rozptýlených (dispergovaných) částic tuhé fáze ve větší agregáty, poutané adhézními silami, tím vzniká hrubě disperzní systém, který je kineticky nestálý. Následující sedimentace shluků pevných částic se nazývá číření. Částice, které tvoří stabilní disperze jsou označovány jako koloidní. Příčinou stability disperzí těchto částic jsou přitažlivá síla hmotných částic (síla van der Waalsova) a odpuzivá elektrostatická síla elektricky stejně nabitých částic. Když je elektrostatická síla částic (úměrná tzv. zeta (ζ) potenciálu částic) větší než síla van der Waalsova, částice stejně elektricky nabitě se odpuzují a nedochází k jejich sedimentaci. Při snížení potenciálu ζ pod tzv. kritickou hodnotu (cca 30mV) dochází k převaze přitažlivých sil van der Waalsových nad odpuzivou silou elektrostatického náboje částic a ty se začínají shlukovat ve větší celky, které pak sedimentují [5], [7].

2.1. Elektrická dvojvrstva a zeta potenciál

Jádro koloidní částice je na povrchu obaleno ionty, ty tvoří vnitřní vrstvu a udílejí jádru kladný nebo záporný elektrický náboj. Vnitřní iontová vrstva přitahuje elektrostatickými a adsorpčními silami ionty s opačným nábojem, které tvoří vnější vrstvu a ta svým nábojem do jisté míry neutralizuje náboj vnitřní vrstvy povrchu

jádra. Tento útvar složený ze dvou vrstev s opačnými náboji se nazývá elektrická dvojvrstva [22].



Obrázek č. 1: Elektrická dvojvrstva.

Vnější vrstva se skládá ze dvou částí. Adsorpční část ulpívá na povrchu koloidní částice a pohybuje se s ní. Difúzní část neulpívá na povrchu částice a může se pohybovat s okolní kapalinou. Každá z těchto dvou částí má náboj stejné velikosti, ale opačného znaménka. Mezi nimi je tedy pohybové rozhraní. Toto rozhraní vykazuje určitý elektrokinetický potenciál, který se nazývá potenciál zeta a označuje se symbolem ζ . Pohybové rozhraní a potenciál zeta jsou znázorněny na obrázku č. 1. Určení zeta potenciálu je užitečné pro zjištění průběhu koagulace. Pokud je zeta potenciál větší než 20 až 30 mV, brání částicím ve vzájemném shlukování a disperze je stabilní. Hodnota zeta potenciálu, při které dochází ke koagulaci, se nazývá kritická [22], [23]. Vztah mezi stabilitou a potenciálem zeta je zřejmý z tabulky č. 1.

Tabulka č. 1: Vztah stability a potenciálu [12].

Potenciál zeta [mV]	Stabilita
± 60 až ± 40	velmi stabilní
± 40 až ± 20	středně stabilní
± 20 až ± 10	labilní
± 10 až 0	velmi labilní

2.2. Destabilizace koloidních systémů

Stabilita koloidních systémů je způsobena hlavně elektrickým nábojem, jehož existence má za následek vznik elektrokinetického potenciálu mezi povrchem částice a okolní kapalinou. Koloidní částice vykonávající Brownův pohyb nemohou agregovat, protože mají náboj stejného znaménka. Jejich destabilizace tedy spočívá ve zrušení náboje a snížení potenciálu na hodnoty blízké nule nebo na nulu. Různá destabilizační činidla nebo koagulační činidla mohou způsobovat destabilizace různým způsobem a mechanismem. Základní způsoby destabilizace jsou destabilizace pomocí elektrolytů, destabilizace pomocí opačně nabitých solí a destabilizace pomocí molekulárních koloidů [23].

2.2.1. Destabilizace pomocí elektrolytů

Tento způsob destabilizace je čistě elektrostatický. Přidáním elektrolytů snižujeme hodnotu potenciálu zeta. Stav, ve kterém je $\zeta = 0\text{mV}$, se nazývá izoelektrický stav. Působení elektrolytů lze vysvětlit přechodem iontů z difúzní části dvojvrstvy přes pohybové rozhraní do části adsorpční. Říkáme, že elektrická dvojvrstva se stlačuje. Potenciál zeta je nejlépe ovlivňován ionty opačného náboje než jsou ionty tvořící vnitřní vrstvu. Při kladné hodnotě potenciálu zeta se uplatňují aniony a při záporné hodnotě kationy. Účinnost iontů stoupá s jejich mocností [24].

2.2.2. Destabilizace pomocí opačně nabitých solů

Ve směsi solů stejného znaménka nedochází ke koagulaci, pokud však neprobíhá chemická reakce. Ve směsi solů opačně nabitých částic se tyto vzájemně přitahují, což snižuje stabilitu systému a dojde k agregaci částic. Mohou nastat tři případy. Jsou-li smíchány oba soly v ekvivalentních poměrech, dochází k úplné koagulaci obou solů. Je-li kladného solu více než záporného, dochází pouze k úplné koagulaci záporného solu a nad sraženinou zůstane nekoagulovaný kladný sol. Je-li záporného solu více než kladného, dojde k úplné koagulaci kladného solu a nad sraženinou zůstane záporný sol. Z toho vyplývá, že v každém případě musí být optimální dávka koagulantu stanovena experimentálně. Většina koloidních částic v odpadních vodách nese záporný náboj, je třeba k destabilizace používat koagulanty, které jsou tvořeny pozitivně nabitými částicemi [23].

2.2.3. Destabilizace pomocí molekulárních koloidů

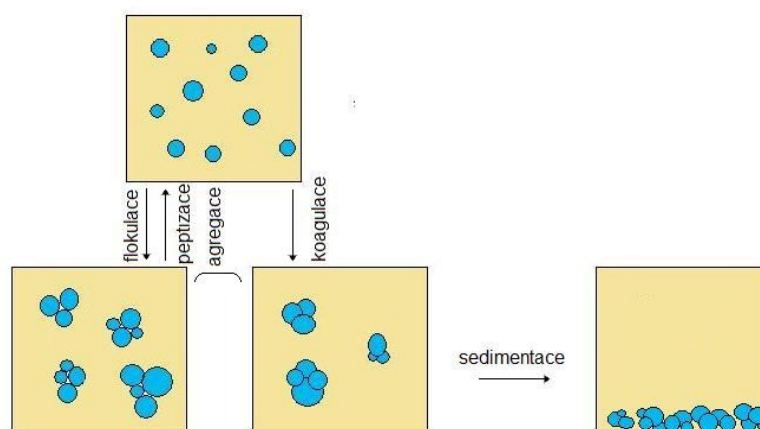
Organické polymery tvoří ve vodě molekulární koloidy. Jejich působení lze vysvětlit pomocí můstkové teorie. Tato teorie předpokládá tvorbu komplexu částice-polymer-částice, ve kterém polymer slouží jako můstek. Aby byla molekula polymeru účinným destabilizátorem, musí obsahovat chemické skupiny, které jsou schopné interakce s určitými místy na povrchu koloidní částice. Přejde-li molekula polymeru do kontaktu s koloidní částicí, některé z těchto skupin se adsorbují na povrchu částice, zatímco zbytek se volně rozprostírá v roztoku. Tím dojde k destabilizaci koloidní částice. Předávkování polymeru způsobuje stabilizaci částice a tedy zhoršení koagulačních podmínek. Příliš intenzivní a dlouhé míchání může vést k rozbití vytvořených vloček, na což je třeba dávat pozor při technologických procesech [24].

3. Koagulace a Flokulace

Proces, při kterém se malé částice shromažďují do větších útvarů (agregátů) nazýváme agregace. Při tom dochází ke zrušení fázového rozhraní mezi jednotlivými částicemi a disperzním prostředím a také se zmenší plocha jejich povrchu. Tím si malé částice zachovávají identitu, ale ztrácejí kinetickou nezávislost, což znamená, že se agregát pohybuje jako celek. Známe dva druhy agregace a to flokulaci a koagulaci [6].

Termíny flokulace a koagulace jsou často používány jako synonyma, mezi těmito dvěma procesy je však malý rozdíl. Pokud je destabilizace vyvolána pomocí neutralizace náboje přidáním anorganických chemických látek, pak se proces nazývá koagulace. Flokulace zahrnuje agregaci destabilizovaných částic (částice, u kterých bylo sníženo povrchové napětí) a srážení produktů do větších částic známých jako flokulační částice nebo častěji vločky, které mohou být následně odstraněny sedimentací nebo filtrací. U flokulace nedochází k podstatné změně povrchového náboje. Koagulaci a flokulaci můžeme také rozlišit podle doby potřebné pro tyto procesy. Ke koagulaci dochází v průběhu 10 sekund, zatímco k flokulaci v průběhu 20 až 45 minut [2], [8].

Flokulací vznikají shluky volně vázaných částic. Je to vratný proces, kdy mohou být agregáty velmi malým zásahem převedeny zpět na koloidní systém (peptizace). Mohou také přecházet na pevnější shluky.



Obrázek č. 2: Koagulace x flokulace.

Při koagulaci vznikají agregáty pevně vázaných částic. Není to vratný proces. Vytvořený koagulát nelze bez přidání energie převést zpět na koloidní systém. Po dosažení určité velikosti agregátů dochází k sedimentaci, ta vede k zániku disperzního systému – je rozdělena na makrofáze [6]. Rozdíl, mezi flokulací a koagulací je znázorněn na obrázku č. 2.

3.1. Flokulace

Cílem flokulace je vytvořit pomocí agregace takové částice, které mohou být odstraněny dalšími separačními procesy, jako jsou sedimentace a filtrace. V závislosti na velikosti částic a způsobu agregace známe dva obecné typy flokulace a to mikroflokulaci a makroflokulaci.

Mikroflokulace je známá také jako perikinetická flokulace. Částice agregují vlivem Brownova pohybu. Což znamená, že se molekuly v roztoku neustále srážejí vlivem tepelného pohybu. Směr a síla těchto srážek jsou náhodné.

Makroflokulace se také nazývá ortokinetická flokulace. Agregace probíhá vlivem hydraulických faktorů. Hlavní mechanismus pro flokulaci částic větších než $1\mu\text{m}$ je pomalé míchání vody. Promícháváním dosáhneme většího množství srážek mezi částicemi, což vede k vytvoření vloček. Ovšem během míchání jsou vločky vystaveny rozdílným smykovým silám a to může vést k narušení některých agregátů nebo k jejich rozbití. Po určité době míchání je dosaženo rovnovážného stavu, kdy vznik i rozpad vloček je zhruba stejný [2], [9].

3.1.1. Faktory ovlivňující flokulaci

Účinnost flokulace závisí především na chemických vlastnostech a struktuře polymeru. Patří mezi ně molekulová hmotnost polymerních segmentů, náboj aktivních skupin, distribuce náboje v polymerním řetězci, typ polárních skupin v polymerním řetězci, velikost částic a stupeň a druh rozvětvení polymerního řetězce. Dále závisí na povaze upravovaného systému a to na povrchovém náboji pevných částic, typu povrchu částic, obsahu a velikosti pevných částic, pH prostředí, hustotě, viskozitě a teplotě. V neposlední řadě

flokulace závisí na technologickém postupu. Na koncentraci dávkovaného polymeru, velikosti systému, dávkování a stupně promíchávání.

Tyto aspekty musíme předem analyzovat a na základě vyhodnocení výsledků, můžeme následně zvolit vhodný polymer. Současně ale musíme vědět, jakého cíle chceme dosáhnout. Jestliže urychlit sedimentaci, zlepšit vyčerení odtokové vody, zvýšit zahuštění sedimentu nebo zvýšit výkon odvodňovacího zařízení. Díky tomu pak upravujeme optimální podmínky a metody použití [5].

3.2. Flokulační činidla

Podle charakteru a mechanismu působení agregačních reagentů na povrch minerálního zrna je můžeme rozdělit na elektrolyty, povrchově aktivní látky a makromolekulární látky.

3.2.1. Elektrolyty

Působení elektrolytů se vysvětluje stlačením elektrické dvojvrstvy na povrchu pevných částic. Difúzní charakter této dvojvrstvy a odpuzivý účinek je ochranným faktorem stability disperzních částic. Elektrolyty způsobí neutralizaci náboje na povrchu a tím umožní vzájemné přiblížení částic do takových vzdáleností, při kterých se mohou uplatnit adhezivní síly mezi povrchy. Díky tomu dochází ke spojování částic do větších celků. Takto vzniklé agregáty jsou často příliš malé a při mechanickém namáhání se snadno rozpadávají [11].

3.2.2. Povrchově aktivní látky

Povrchově aktivní látky – sběrače zvětšují nebo vyvolávají hydrofobnost minerálních zrn a způsobují tak zvyšování adheze částic. Tím dochází k jejich vločkování. Hydrofobizační účinek způsobuje přítomnost nepolární skupiny v molekule sběrače. Vhodně zvolený přídatek sběrače může snížit povrchový náboj minerálních zrn, ovlivnit povrchovou energii zrn a snížit hydrofilnost povrchu. Zároveň dochází k zeslabení sil mezi tuhým povrchem a vodním prostředím a ke zmenšení odporu proti koagulaci pevných částic. Použití povrchově aktivních látek

má i své nevýhody jako pěnicí účinek sběračů. Další nevýhodou je, že vzniklé agregáty jsou mechanicky málo stabilní [10], [11].

3.2.3. Makromolekulární látky

Pro agregaci se používají makromolekulární látky řetězové struktury a rozpustné ve vodě. Agregací účinek těchto činidel je dán charakterem mechanismu působení makromolekulárních látek. Polymerní řetězce tvoří přemostění mezi minerálními částicemi ultrajemné zrnitosti, na které se adsorpčně poutají prostřednictvím svých aktivních skupin (KCOOH , OH , CONH_2). Příčinou agregace není jen tvorba můstků. Dochází ke snížení ζ potenciálu zrn, díky silné a nevratné adsorpci částic polymeru na minerálních zrnech, to má za následek agregaci.

Podle původu můžeme makromolekulární látky rozdělit na přírodní a syntetické. Mezi přírodní patří polysacharidy (škrob, dextrin, celulóza) a organické koloidy (glej, želatina, kasin). Syntetické flokulanty vznikají v procesu polymerace a polykondenzace (polyvinylový alkohol, hydrolyzovaný polyakrylonitril, polyakrylan, polymetaakrylan, polyakrylamid). Nejčastěji se používá polyakrylamid, který má různé názvy např.: PAA, AMF, Separand, Superfloc, Aeroflot, Magnafloc, Praestol, atd.

Podle charakteru se dělí na neionogenní a ionogenní. Neionogenní makromolekulární látky mají částice ve tvaru dlouhého stálého řetězce s velkým počtem OH skupin, které se adsorbují na povrchu minerálních zrn prostřednictvím vodíkových spojení. Patří zde polyvinylový alkohol a škrob. Ionogenní dále dělíme na anionaktivní a kationaktivní. Anionaktivní se ve vodním roztoku disociují na kationt kovu a polyaniont (polyakrylan sodný, kopolymery kyseliny maleinové). Kationaktivní se disociují ve vodním roztoku na nízkomolekulární aniont a polykationt (vinylpyridin). Kation-anionaktivní tvoří při disociaci stejný počet skupin s kyselým a zásaditým charakterem [11].

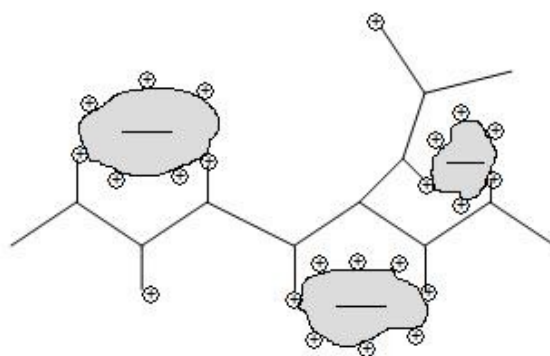
Podle toho, z jaké výchozí suroviny se připravují, lze makromolekulární látky rozdělit na látky na bázi škrobu, na bázi polyakrylamidu a na bázi ostatních polymerů.

Základní vlastnosti makromolekulárních látek jsou dány jejich polymeračním stupněm (počtem monomerů v makromolekule polymeru). Makromolekuly těchto organických flokulantů jsou lineární nebo rozvětvené polymery rozpustné ve vodě, s charakteristickými skupinami na vláknitých molekulách. Organické flokulanty mají ve větších koncentracích pseudoplastické vlastnosti, které závisí na koncentraci, relativní molekulové hmotnosti a řadě jiných vlivů. Při prudkém míchání působí na polymer tečné síly, ty ho degradují a dochází ke zmenšení viskozity. Zároveň však klesá jeho flokulační účinnost.

Předpokládá se, že organické flokulanty působí tak, že dochází k adsorpci polymeru na více než jednom adsorpčním místě na částici. Makromolekuly mají v malé vzdálenosti od sebe skupiny schopné vazby. Ionogenní či neionogenní skupiny a povrch částic na sebe vzájemně působí, skupiny se adsorbují a vločkování je vyvoláno řetězením částic pomocí vláknitých molekul [12].

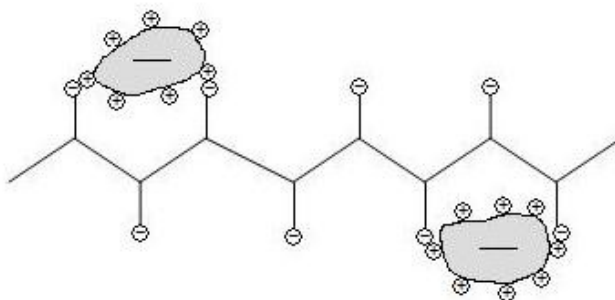
Mechanismy flokulačního působení makromolekulárních látek:

1. Když částice, které potřebujeme sedimentací odstranit, mají záporný náboj a flokulačním činidlem je kationtový polyelektrolyt, flokulační účinek polyelektrolytu můžeme vysvětlit schématickým znázorněním (obrázek č. 3). Náboj vnitřní části elektrické dvojvrstvy určuje negativní náboj minerálních částic. Ve vnější části dvojvrstvy jsou kladné ionty z roztoku, mezi které se adsorpčními elektrostatickými silami váží kationty funkčních skupin makromolekuly. Kationty jedné makromolekuly se mohou adsorbovat na více částic a tím je vzájemně vážou [3].



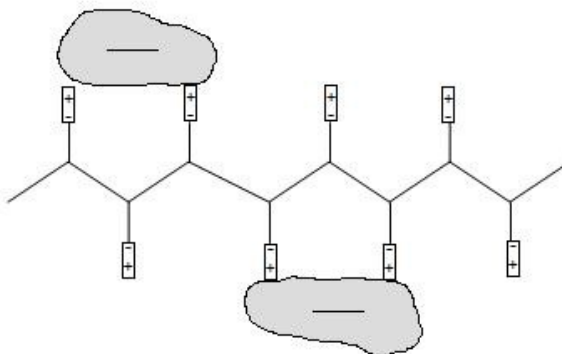
Obrázek č. 3: Působení kationového polyelektrolytu na negativní tuhé částice.

2. Když se jako flokulační činidlo použije aniontový polyelektrolyt, vysvětluje se jeho flokulační účinek tak, že kationt původně přítomný na povrchu částice má o něco vyšší afinitu k polyaniontu jako jednomocný iont doprovázející polyaniont. Velká polyaniontová molekula se pak iontově váže na povrch částice, zatímco absorbované polyvalentní kationy působí jako „přemostění“ (obrázek č. 4) [3].



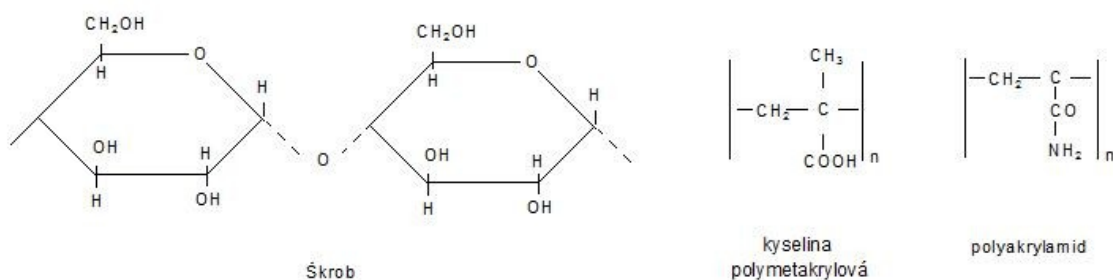
Obrázek č. 4: Přemostňující vazba polyaniontu na negativně nabitě tuhé částice.

3. Dalším typem flokulačních činidel jsou polymery s polárními koncovými skupinami. Polární skupiny těchto makromolekul se v blízkosti nabitého povrchu (v jeho elektrickém poli) orientují do výhodné polohy, při které se dosáhne minima potenciální energie dipólu (když je dipól orientovaný k povrchu opačným nábojem). Při tomto stavu dochází k vazbě povrch částice – dipól (obrázek č. 5) [3].



Obrázek č. 5: Vazba orientovanými dipóly.

4. Při většině používaných makromolekulárních činidel můžeme předpokládat tvorbu vodíkových můstků. Je všeobecné známo, že vodík z polárních skupin -NH_2 , -COOH , -OH aj. je schopen vázat se vedlejší valencí k silně elektronegativním prvkům jako jsou dusík, kyslík a fluor. Síla takové vazby je silnější než vazba van der Waalsova, ale slabší než vazba kovalentní. Tyto polární skupiny jsou ve struktuře některých přírodních i umělých makromolekulárních látkách (obrázek č. 6) [3].



Obrázek č. 6: Struktura makromolekulárních látek.

Flokulační činidla se před použitím rozpouštějí v zásobníkových nádržích většinou na 0,05 až 0,1% roztok, který se ve zředěné formě dávkuje do rmutu.

3.3. Příprava roztoků a dávkování

Pro určení vhodného organického flokulačního činidla, není všeobecně platné pravidlo. Při určení se však řídíme několika zásadami. Pro čiření vody lze uvažovat o flokulačních činidlech neionogenních a kationaktivních. V prostředí kolem neutrálních hodnot pH a při vysokém obsahu organických látek ve vodě zkusíme nejprve kationaktivní flokulační činidla. U jílovitých suspenzí, kaolínu a práškového aktivního uhlí jsou nejvhodnější anionaktivní flokulační činidla. Při úpravě vod dekarbonizací vápnem se zdají být nejvhodnější neionogenní flokulační činidla.

Organické flokulační činidla se dodávají buď v bezvodém stavu ve formě prášků, vloček, kuliček, pevných bloků, nebo jako vodné viskózní kapaliny o koncentracích 10 až 60% aktivních polymerů. Bezvodé preparáty se mohou skladovat delší dobu v chladném a suchém prostředí. Kapalně preparáty a vodné roztoky se mohou skladovat pouze kratší dobu, protože jejich vlastnosti se delší dobou skladování mohou výrazně změnit [22].

Flokulační činidla se ve většině případů dávkuje do upravované vody ve formě zředěného roztoku. V praxi se nejdříve připravují koncentrovanější zásobní roztoky (0,5 až 3% hmotn.), které se před dávkováním do vody zředí na pracovní roztoky o koncentraci 0,1 až 0,5% hmotn. Spotřeba flokulačního činidla je různá a závisí na druhu funkčních skupin činidla, jeho molekulární hmotnosti, ionogenity, způsobu dávkování a na vlastnostech rmutu (hustota, zrnitost, pH, teplota, chemické vlastnosti aj.). Spotřeba přírodních makromolekulárních látek bývá 10 až 100-násobně vyšší než spotřeba syntetických flokulačních činidel, která se pohybuje okolo 0,1 až 1 g na m³ rmutu [3], [22].

Pro přípravu vodných roztoků flokulačních činidel platí několik zásad. Roztok musí být připravován přidáním polymeru do vody. Směs se musí přiměřeně a plynule míchat až o vytvoření homogenního roztoku. Doba rozpouštění se mění s koncentrací připravovaného roztoku. Při použití studené vody je doba rozpouštění pro 1% roztoky 30 až 60 minut. Tato doba může být zkrácena použitím teplé vody. Teplota vody nesmí překročit 60 °C. Zásobní roztoky se nedoporučuje připravovat pro více než 2 až 3 dny. Organické flokulační činidla jsou nejúčinnější při své optimální dávce, je třeba pečlivě kontrolovat dávkování. Flokulační činidla musí být zdravotně nezávadné [22].

3.4. Možnosti použití organických flokulantů

V úpravnictví jsou využívány zejména v procesu odvodňování a to hned z několika důvodů. Zvyšují totiž kapacitu zařízení určených k odvodňování. Působí již při nízkých dávkách, což má ekonomický efekt. Práce s nimi je jednoduchá a čistější než tomu bylo u předcházejících činidel. Nemají korodující účinek na zařízení. Potřebují menší skladovací prostor a mají nižší požadavky na dávkovací aparaturu.

Při úpravě pitné vody se pro tvorbu mikrovloček využívá přídavku síranu hlinitého k surové vodě a následné makroflokulace syntetickými flokulanty. Zde se uplatňují slabě až středně silné anionaktivní flokulanty. V případě surových vod s obsahem organických kontaminantů lze aplikovat současně se síranem hlinitým

kationaktivní flokulanty. Obdobné kritéria platí také pro úpravu průmyslové užitkové vody.

V hornictví jsou nejpoužívanější anionaktivní flokulanty. Hlavními oblastmi použití jsou čerání promývací vody, filtrace cenných látek a úprava flotačních kalů. Rozpouštěcí louhy u hydrometalurgické úpravy rud lze čerit jak neionogenními či slabě anionaktivními flokulanty, tak i silně anionaktivními flokulanty.

V chemickém průmyslu se většinou jedná o speciální použití, které se dají souhrnně těžko klasifikovat. Obecně lze říci, že pro systémy převažujícími anorganickými podíly lze použít anionaktivní produkty, u systému s vyššími organickými podíly a u suspenzí z biotechnologických procesů to pak jsou většinou kationaktivní flokulanty.

V metalurgickém průmyslu se při čištění odpadních vod uplatní zejména anionaktivní Sokofloky.

Nejvyšší spotřeba kationaktivních flokulantů je při odvodňování kalů z městských a průmyslových čistíren odpadních vod. Podle druhu a původu se zde rozlišují čerstvý kal, vyhnílý kal a přebytečný biologický kal. Obecně lze říci, že rostoucímu podílu organických složek kalu odpovídá obvykle vyšší kationicita použitého flokulantu [5].

4. Čistírna odpadních vod Hlučín - Jasénky

Město Hlučín leží na úpatí Hlučínské pahorkatiny nad širokou nivou řeky Opavy. Scenérie okolní přírody spolu s kulturními památkami a nabídkou rekreačních možností podtrhuje jeho turistický význam v regionu. Město patří k přirozeným centrům bývalého opavského okresu. Svými téměř 15000 obyvateli se řadí do kategorie středně velkých měst. Katastrální výměra je 2 113 ha [13].

Čistírna odpadních vod Hlučín - Jasénky (obrázek č. 7) čistí splaškové odpadní vody z města Hlučín. Mimo odpadní vody, které na ČOV přitékají kanalizací, přiváží se sem i odpadní vody ze septiků a žump. Čistírna odpadních vod byla navržena a je koncipována jako mechanicko biologická s technologií aktivace s nitrifikací, denitrifikací a novou regenerací kalu. Jako recipient ji slouží tok Jásenka, která se vlévá do řeky Opavy.



Obrázek č. 7: Čistírna odpadních vod Hlučín – Jasénky [20].

Proces čištění odpadní vody začíná jejím hrubým mechanickým předčištěním, kdy se z odpadní vody odstraní pevné látky, které by v dalších částech čištění mohly způsobovat mechanické potíže a poruchy technologického zařízení. Následuje primární sedimentace v usazovací nádrži, kde se z odpadní

vody odstraní usaditelné a plovoucí látky. V dalším biologickém čištění se odstraní rozpuštěné a neusaditelné organické látky [14].

4.1. Mechanické předčištění

Úkolem hrubého předčištění, je odstranění plovoucích nebo vodou sunutých předmětů. Tyto předměty by mohly narušovat pracovní procesy vlastního čištění odpadních vod, ale hlavně by mohly zapříčinit poruchy strojního zařízení. Základní jednotky mechanického předčištění jsou česle a lapáky písku [15].

4.1.1. Česle

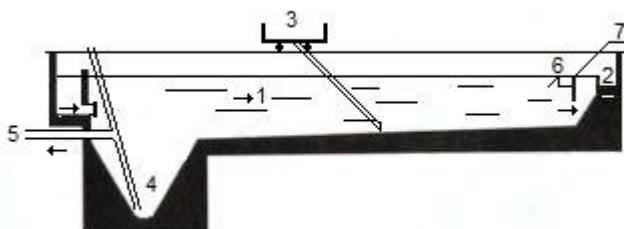
Představují první článek celého čistírenského procesu. Zachycují všechny plovoucí hmoty větších rozměrů jako jsou papíry, hadry, dřevo, odpadky z domácností, případně hmoty větších rozměrů vlečené proudem vody u dna. Česle jsou tvořeny kovovými pruty obdélníkového nebo kruhového průřezu a jsou umístěny kolmo nebo šikmo k hladině vody. V menších čistírnách se používají česle ručně stírané a ve velkých a středních čistírnách se používají česle strojně stírané. Když je nutné kvalitnější předčištění, umístí se za česla síta [16], [17].

4.1.2. Lapáky písku

Lapáky písku odstraňují suspendované, těžké anorganické látky jako jsou písek, úlomky skla, drobné kovové předměty, jemná škvára. Tyto látky je nutné odstranit odděleně od ostatních nerozpuštěných látek organického původu, které se jinak odstraňují v sedimentačních nádržích. Kdyby se odstraňovaly až v sedimentační nádrži, docházelo by ve vyhnívací nádrži k rozvrstvení kalu, písek by se postupně hromadil u dna nádrže a zmenšoval by tak celkový účinný objem vyhnívací nádrže. Rychlost průtoku vody v lapači musí být nízká a pro zkrácení usazovací dráhy bývají lapače mělké. Množství písku v městských vodách je různé a pohybuje se v rozmezí 5 až 12 litrů na obyvatele za rok. V deštivém období jsou uvedené hodnoty až 20 násobně překračovány [15].

4.1.3. Primární sedimentace

Hrubě předčištěná voda z lapáku písku natéká přes šachtu do usazovací nádrže. Tam se odstraňují tuhé částice vlivem gravitačního zrychlení. Pro tyto účely se používají průtočné usazovací nádrže. Při čištění městských odpadních vod jsou usazovací nádrže zařazeny před biologické čištění. Podle způsobu průtoku odpadních vod rozeznáváme nádrže pravoúhlé horizontálně protékané, kruhové horizontálně protékané a nádrže s vertikálním průtokem. Na ČOV Hlučín používají pravoúhlou horizontálně protékanou nádrž (obrázek č. 8). Tato nádrž má obdélníkový půdorys, je hluboká 3 m a dlouhá 15 m. Odpadní voda protéká usazovacím prostorem (1) po celé délce nádrže k odtokovému žlabu (2). Usazené látky se hromadí u dna, odkud jsou stírány stěračem upevněným na pojízdném mostě (3) do kalového prostoru (4). Kal se dále vypouští do kalové jímky (5). Plovoucí látky jsou stírány stěračem dna, kdy při pohybu směrem ke kalovému prostoru shrnuje usaditelné látky a při opačném pohybu shrabuje plovoucí látky do žlabu (6) umístěném na norné stěně (7). Rychlost pohybu mostu je $0,01$ až $0,03 \text{ m.s}^{-1}$. Vtok do nádrže je uzpůsoben tak, aby přiváděnou odpadní vodu rozváděl rovnoměrně do celého průtočného profilu a aby proud kapaliny nezasahoval příliš do usazovacího prostoru [14], [15].



Obrázek č. 8: Pravoúhlá, horizontálně protékaná usazovací nádrž.

1 - usazovací prostor, 2 - odtokový žlab, 3 - pojízdný most, 4 - kalový prostor, 5 - kalová jímka, 6 - žlab, 7 - norná stěna

4.2. Biologické čištění

Biologické metody napodobují mikrobiální proces, který probíhá v přírodě. Jejich průběh je citlivý na změnu podmínek a na toxické látky, které mohou zahubit mikroorganismy. V běžných přírodních podmínkách se mikroorganismy

vyskytují v každé vodě. Jsou to organismy s nejintenzivnějším metabolismem a rozmnožováním. Podle zdroje energie potřebného k životu je rozdělujeme na fototrofní organismy (využívají energii světelného záření) a na chemotrofní (využívají energii chemických reakcí). Dalším důležitým rozdělením je na aerobní (vyžadují kyslík) a anaerobní (bez přítomnosti kyslíku).

Biologické čištění odpadních vod je založeno na biochemických pochodech, při kterých se rozmnožují mikroorganismy. Tyto mikroorganismy rozkládají organické látky, aby získali mikrobiogenní prvky (C, H, O, N, P aj.), které jsou důležité pro stavbu jejich organismů a energii potřebnou k životu. [17]

V procesu biologického čištění se do odpadní vody přivádí kyslík aeračním zařízením a současně se voda promíchává, aby bakterie, které rozkládají organické látky, měly dostatečné množství kyslíku a neusazovaly se na dně, kde by zahnívaly a odumřely. Bakterie se množí a slepují do vloček, které vytvářejí tzv. aktivovaný kal. Protože do ČOV přitéká neustále odpadní voda je nutné odstraňovat část vznikajícího kalu jako přebytečný kal [14].

4.2.1. Mikroorganismy aktivovaného kalu

Lze je obecně rozdělit do dvou hlavních skupin a to na destruenty a konzumenty. Destruenti představují až 95% aktivovaného kalu a jsou zodpovědní za biochemický rozklad znečišťujících látek v odpadní vodě. Tato skupina je reprezentována hlavně bakteriemi, minoritní součást tvoří např. mikromycety a bezbarvé sinice. Konzumenti využívají bakteriální a jiné mikrobiální buňky jako substrát. V aktivovaném kalu představují tzv. vyšší osídlení (mikrofaunu). To je podle stavu funkční polokultury zastoupeno jednobuněčnými organismy (protozoa) i organismy mnohobuněčnými (metazoa). Kvalita i kvantita aktivovaného kalu se stabilizuje samovolně. Závisí na složení substrátu, na kterém byl aktivovaný kal vypěstován (přitékající odpadní vody) a na hodnotách technologických parametrů během kultivace [15].

4.2.2. Nitrifikace a denitrifikace

Při biologickém rozkladu organických látek se rozkládají také dusíkaté organické sloučeniny. Z nich se v první fázi hydrolýzou uvolňuje amoniak (NH_4^+), který je přísně limitovanou složkou odpadních vod. Proto se v procesu nitrifikace oxiduje na méně nebezpečné dusičnany (NO_3^-). A ty jsou v procesu denitrifikace redukovány na neškodný plynný dusík (N_2), který se uvolňuje z vody a odchází do atmosféry. Rozklad organických látek a nitrifikace probíhá za přítomnosti kyslíku. Pro denitrifikaci je nutné zajistit deficit kyslíku. Bakterie pak k odstranění organických látek využívají místo kyslíku dusičnany, které se tak odstraní [14].



Obrázek č. 9: Aktivační nádrž [21].

Rozklad organických látek zajišťují heterotrofní (hnilobné bakterie aktivovaného kalu. Ty se intenzivně množí a jsou schopny se přizpůsobit různým podmínkám, jako jsou změny teploty, látkové zatížení i široké škále organických látek. Jejich činnost je podmíněna dostatečným množstvím kyslíku, popřípadě dusičnanů v denitrifikaci. Nitrifikaci zajišťují nitrifikační bakterie, které jsou autotrofní, a jejich jediný zdroj energie je oxidace amonných iontů na dusičnany. Jsou mnohem citlivější na změnu prostředí. Mají nízkou růstovou rychlost a ta rychle klesá s teplotou prostředí. Správně navržené a provozované biologické čištění, zajišťuje vhodné životní podmínky pro obě skupiny bakterií. Hlavním kritériem pro dosažení nitrifikace je dostatečné stáří kalu, tj. doba za kterou se teoreticky vymění zásoba kalu v aktivační nádrži (obrázek č. 9) jeho odpouštěním.

Pokud by bylo stáří kalu nižší než je růstová rychlost nitrifikačních bakterií, pak by se postupně z procesu čištění odstranily spolu s přebytečným kalem. Při denitrifikace reakční rychlost závisí na látkovém zatížení (na koncentraci organických látek). Čím je vyšší koncentrace BSK₅, tím intenzivnější je biologický rozklad organických látek a spotřeba dusičnanů. Pro denitrifikace je nutný deficit kyslíku, který je dosažen přerušovanou aerací (střídá se fáze aerace s fází pouhého promíchávání). Celková době aerace je cca 16 hod/den [14].

4.2.3. Dosazovací nádrž

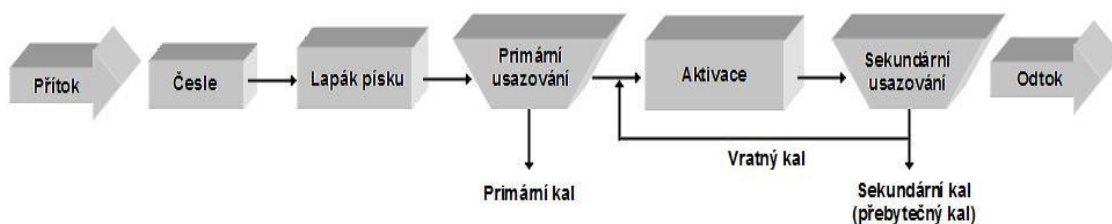
Za aktivační nádrží se nachází dosazovací nádrž, kde dochází k separaci aktivovaného kalu. Aktivační směs se nejprve přivádí do uklidňovacího válce ve středu dosazovací nádrže, kde dojde ke zrušení nátokové energie, částečnému vyvločkování a k usměrnění toku kalu ke dnu nádrže. Kal vytváří v nádrži tzv. kalový mrak, který zaujímá značný objem nádrže a je od vyčištěné vody oddělen ostrým rozhraním – stropem kalového mraku. Ten by měl sahat nejméně 50 cm pod hladinou vody v nádrži, protože by mohlo dojít k úniku kalu do vyčištěné vody. V kalovém mraku probíhá postupná sedimentace kalu ke dnu nádrže, kde je usazený kal shrabován mechanickým shrabovacím zařízením do centrální části nádrže, odkud se čerpá do kalojemů nebo zpět do aktivační nádrže. Kalovým mrakem protéká vyčištěná odpadní voda k hladině nádrže, přičemž se na vločkách kalového mraku zachytí drobné nesedimentující vločky kalu, které by jinak unikly do vyčištěné vody. Vyčištěná voda z hladiny nádrže podtéká nornou stěnu, kterou tvoří žlab na odtažení plovoucího kalu, přepadá do sběrného žlabu a odtéká z ČOV. Plovoucí kal se odpouští zpět do vstupní čerpací stanice na přítoku ČOV [14].

4.3. Zpracování kalů

Většina ČOV využívá v technologické lince biologické procesy, a proto jsou významným vedlejším produktem čistírenské kaly. Ta je potřeba na čistírně zpracovat nebo využít a transportovat k dalšímu využití nebo likvidaci. Při

zpracování kalů na většině čistírnách se kal zpravidla zahušťuje, stabilizuje, hygienizuje, odvodňuje, případně se může také vysušit a spálit [15].

V mechanickém stupni dochází k odstraňování hrubých nečistot, které jsou separovány jako shrabky nebo usaditelné nerozpuštěné látky v lapáku písku. V biologickém stupni dochází k další redukci a to biologicky odbouratelných látek. Všechny tyto látky odstraněné z vody během procesu, jsou kumulovány v čistírenských kalech. Kaly představují asi jednu čtvrtinu objemu čištěných odpadních vod, ale je v nich koncentrováno 50 – 80 % z původního znečištění. Kal, který ještě neprošel stabilizací, se nazývá surový kal. Podle toho, odkud ze systému je kal odebrán rozlišujeme primární kal a sekundární kal (obrázek č. 10) [18].



Obrázek č. 10: Proces vzniku kalu.

Primární kal je oddělován ze surové odpadní vody v usazovacích nádržích. Je z velké části biologické povahy a jeho složení je dáno hlavně složením přitékající odpadní vody a poměry ve stokové síti. Protože kal obsahuje i velké množství koloidních látek, má schopnost vázat vodu a udržovat ji, a proto se špatně vysouší.

Sekundární kal (přebytečný aktivovaný kal) je oddělován z biologického stupně čištění v dosazovací nádrži. Obsahuje nerozložené zbytky organických látek a přebytečnou biomasu. Má vločkovitou strukturu a jeho složení je ovlivněno složením surové odpadní vody, ale také technologií čištění [18], [19].

4.3.1. Stabilizace a hygienizace kalů

Stabilizace kalu znamená jeho biologické či fyzikálně-chemické zpracování, které zajistí jeho hygienickou nezávadnost a stabilitu vzhledem k jeho

dalšímu použití. Stabilizace spočívá v poklesu přítomnosti patogenních a ostatních živých organismů a ve snížení množství rozložitelného organického podílu sušiny kalu. Kal, který je stabilizovaný, není náchylný k dalšímu rozkladu, takže při skladování nezpůsobuje pachové a hygienické problémy. Stabilizaci můžeme provádět několika způsoby, a to anaerobní, aerobní nebo chemickou stabilizací [15].

Anaerobní stabilizace je nejrozšířenější metodou zpracování kalů, při níž se většina rozložitelných organických látek přemění na bioplyn. V kalovém hospodářství tak dominují anaerobní reaktory (vyhnívací nádrže), ve kterých probíhá anaerobní methanová fermentace. V dnešní době se používají dva způsoby anaerobní stabilizace a to mezofilní a termofilní [18]. Rozdíly jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Základní provozní parametry anaerobní stabilizace [15].

parametr	rozměr	mezofilní stabilizace	termofilní stabilizace
teplota	[°C]	35 – 40	55
doba zdržení	[dny]	20 – 30	15 – 20
zatížení	[kg.m ⁻³ .d ⁻¹]	0,5 – 1,5	1,0 – 2,5

Na ČOV Hlučín – Jasénky probíhá ve vyhnívací nádrži mezofilní anaerobní stabilizace kalu. Rozklad probíhá ve dvou fázích. Anaerobní mikroorganismy rozkládají složité organické látky ze nepřístupu vzduchu na mastné kyseliny a jednodušší organické látky. Ty pak v druhé fázi odbourávají ethanové bakterie na bioplyn, který je tvořen převážně methanem (60 – 70 %) a oxidem uhličitým (30 – 40 %) a v menší míře pak sulfanem, dusíkem a vodíkem. Ve vyhnívací nádrži pak zůstává vyhnílý kal a kalová voda.

Pro optimální průběh anaerobní mezofilní stabilizace kalu by mělo být splněno několik podmínek. Do vyhnívací nádrže by se měl čerpat dostatečně hustý surový kal, aby se nemusela zbytečně ohřívat nadbytečná voda. Doba zdržení surového kalu při teplotě 35 °C by neměla být menší než 15 dnů. Teplota

ve vyhnívacím prostoru by se neměla příliš vychylovat, protože větší výkyvy teplot působí negativně na vyhnívací proces. Důležité je také dokonalé promíchávání přiváděného surového kalu s kalem ve vyhnívací nádrži. Hodnoty pH by neměly klesnout pod $\text{pH} = 7$. Vyhnívací proces probíhá optimálně v slabě alkalickém prostředí [14].

Princip aerobní stabilizace je založen na prodloužené aeraci kalu, která vede k oxidaci většiny biologicky rozložitelných látek. Aerobní stabilizaci lze uskutečnit přímo v aktivaci jejím zvětšením a prodloužením stáří kalu nad 20 – 30 dní (v závislosti na teplotě) nebo provzdušňováním přebytečného aktivovaného kalu v oddělené stabilizační nádrži. Aerobně stabilizovaný kal má specifickou rychlost respirace pod $4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a obsah organických látek v sušině kolem 40 – 60 %. Obsah živých organismů je pod 10 % sušiny.

Chemická stabilizace je založena na přidavku CaO (páleného vápna). Vápno je přidáváno v takovém množství, aby zabezpečilo $\text{pH} > 12$ po dobu alespoň 2 hodin. Zvýšením pH a teploty dochází k inaktivaci většiny mikroorganismů, které by se mohly podílet na rozkladu kalu a tím je zabezpečena jeho stabilita. Podobný dezinfekční účinek má také volný amoniak NH_3 uvolňující se v důsledku zvýšení pH. Výhodou chemické stabilizace je její jednoduchost a velmi dobrý hygienizační účinek. Nevýhodou je zvýšení celkové sušiny kalu, který čistírna produkuje a uvolňování amoniaku do atmosféry [15].

4.3.2. Zahušťování kalů

Zahušťování kalů se používá k redukci hydraulického zatížení kalového hospodářství. Dochází při něm k odstranění vody a tím se sníží objem kalu, který musí být v systému zpracován. Snížený objem kalu zvýší kapacitu jednotek založených na hydraulickém zatížení (vyhnívání kalu) a provozní náklady budou výrazně nižší. Přetížení nebo špatně nedimenzované zahuštění kalu výrazně ovlivňuje kapacitu ČOV. Biologické kaly mohou být zahuštěny v rozmezí 3 – 6 %, primární kal v rozmezí 6 – 8 % sušiny. Pro zahušťování jsou použitelné technologie gravitačního zahušťování, flotace, odstředivky a síťopásové lisy.

Při gravitačním zahušťování je využíváno rozdílu měrné hmotnosti vody a částic kalu. Používají se dva způsoby zahušťování. Zahušťování v procesu a oddělené zahušťování. Zahušťování v procesu se uskutečňuje v kalovém prostoru usazovací nádrže a je velmi efektivní pro primární kaly. Oddělené gravitační zahušťování se používá pro primární kaly, chemické kaly a kaly z biologického čištění [19].

Při flotaci dochází k přesycení kyslíkem nebo dusíkem, což při snížení tlaku způsobí vytvoření malých bublinek, které přilnou k pevným látkám v kalu. Jejich specifická hmotnost je menší než specifická hmotnost vody a v důsledku toho stoupají k hladině, kde jsou mechanicky stírány. Flotace se používá pro aktivovaný kal nebo směsi aktivovaného a primárního kalu. Je to relativně jednoduchý proces, ale velkou nevýhodou je citlivost na kalový index. Při kalovém indexu nad 200 mg/l se účinnost flotace značně zhoršuje. Další nevýhodou je vznik zápachu [18].



Obrázek č. 11: Odstředivka pro zahušťování kalů [25].

Odstředivky (obrázek č. 11) stejně jako u gravitačního zahušťování využívají rozdílu měrné hmotnosti vody a částic kalu. Odstředivá síla je 2000x větší než je gravitace. Největší výhodou odstředivky je, že efektivní separace může být uskutečněna v relativně malém zařízení. Používají se k zahuštění primárního kalu a přebytečného aktivovaného kalu. Největší využití mají pro aktivovaný kal,

kdy se i bez dávkování polymeru dosahuje koncentrace 4 – 6 %. Mohou fungovat s minimální obsluhou a údržbou a mají minimální únik vlhkosti a zápachu.

Sítopásové lisy zastupují novou možnost zahušťování. Do kalu se přidává polymer za účelem flokulace kalu a odvodnění volné vody. Flokulovaná směs je přiváděna na pásový lis, kde se oddělí voda a zbylý kal vypadává na konci jednotky. Pro účinnou flokulaci a separaci, musíme zajistit správné dávkování polymerů [18].

4.3.3. Odvodňování kalů

Při odvodňování kalů dochází ke zmenšení jeho objemu a tím ke zmenšení nároků na transport a zpracovatelské technologie pro využití kalu. Odvodnění kalu je také podmínkou pro jeho spalování. Zmenšením objemu kalu odstraněním přebytečné kalové vody zajišťuje snížení dávek Ca(OH)_2 nebo CaO při hygienizaci kalu. Pro odvodňování jsou použitelné technologie pásové lisy, odstředivky a kalolisy [19].

Pásový lis kombinuje dávkování polymerů s tlakem za účelem odstranění vody z kalu. Přitékající kal je míchán s polymerem, dochází k flokulaci pevných látek a k vytvoření volné vody, která je následně oddělována.

V Odstředivkách je suspenze napouštěna přívodním potrubím do otáčejícího vnitřního bubnu. Odtud je usměrněna radiálně k plášti vnějšího bubnu. Působením odstředivé síly dochází k usazování těžších částic na povrch vnějšího bubnu. Odtud jsou šnekem kontinuálně posunovány do kuželové části bubnu. Z kuželové části je zahuštěný sediment šnekem vyhrnut do výsypné části odstředivky, odkud vypadává do prostoru pod odstředivkou. Pro zlepšení koncentrace sušiny se dávkuje polymery.

Kalolisy se používají v případě, že je vyžadována vysoká koncentrace sušiny. Do kalu se dávkuje flokulant a pak je vystaven vysokému tlaku. Pevné látky se akumulují v komorách lisu a voda se vytlačuje přes porézní tkaninu. Nevýhodou je přerušovaný provoz. Aby byl provoz plynulý, je nutná akumulace za kalolisem. Jako koagulant se používá vápno nebo chlorid železitý a polymer.

Lucie Kolodějová: Výzkum flokulačních činidel při úpravě odpadní vody na ČOV
Hlučín

Dosažitelná koncentrace sušiny se pohybuje v rozmezí 35 – 45 %. Největší problémem kalolisů je Inutí koláče ke tkanině lisu [18].

5. Praktická část

Praktická část zahrnuje výzkum flokulačních činidel při úpravě odpadní vody na ČOV Hlučín. Testovanými flokulačními činidly byly:

- Praestol K232L (polymerní flokulační činidlo, silně kationaktivní, emulze),
- Praestol 852BC (polymerní flokulační činidlo, středně kationaktivní, práškové),
- Praestol 2515 (polymerní flokulační činidlo, slabě anionaktivní, práškové),
- Praestol 2935/74 (polymerní flokulační činidlo, středně anionaktivní, práškové).

Tato činidla byla použita na přebytečném aktivovaném kalu z této ČOV, který měl obsah sušiny 0,5%.

Všechny tyto flokulační činidla se běžně používají na úpravu vody, odpadní vody a pro odvodnění kalu. Flokulační činidlo Praestel K232L se v současnosti používá na ČOV Hlučín-Jasénky.

5.1. Metodika a postup

Roztoky z práškového flokulačního činidla se připravují postupným přisypáváním do proudu pitné vody (pro dokonalé smáčení). Směs se cca 0,5 h míchá v mechanickém měsidle o otáčkách 3000 ot/min. Roztoky z emulzí se připravují nadávkováním emulze do pitné vody a ručním mícháním 5 – 10 minut až do dokonalého rozmíchání.

Sedimentační testy byly provedeny následovně:

Kal z ČOV byl naředěn s vodou v poměru 1:1 (500 ml vody a 500 ml kalu) a následně promíchán. Poté bylo přidáno flokulačního činidla a následovalo 10-ti násobné otočení válce o 180°. V časových intervalech byla zjišťována sedimentační rychlost – vyčtení vodního sloupce – v odměrném válci o objemu 1000 ml, opatřeným milimetrovým měřidlem.

5.2. Průběh sedimentačních testů

V následující části jsou uvedeny výsledky sedimentačních testů s jednotlivými flokulačními činidly. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách č. 3 – 10 a graficky znázorněny v grafech č. 1 – 8.

5.2.1. Flokulační činidlo Praestol 852BC

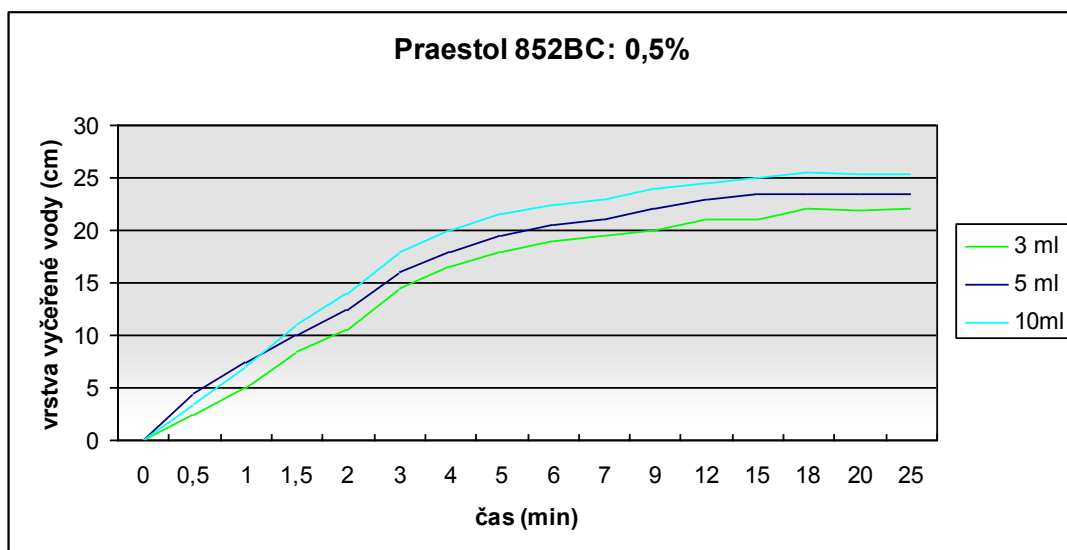
Množství činidla: 3 ml, 5 ml, 10 ml
Koncentrace: 0,5%
Objem kalu: 1000 ml
Zředění: 1:1 (500 ml vody a 500 ml kalu)

Tabulka č. 3: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 852BC 0,5% roztok.

Flokulační činidlo: Praestol 852 BC			
Koncentrace: 0,5%			
čas (min)	3 ml	5 ml	10ml
0	0	0	0
0,5	2,5	4,5	3,5
1	5	7,5	7
1,5	8,5	10	11
2	10,5	12,5	14
3	14,5	16	18
4	16,5	18	20
5	18	19,5	21,5
6	19	20,5	22,5
7	19,5	21	23
9	20	22	24
12	21	23	24,5
15	21	23,5	25
18	22	23,5	25,5
20	21,9	23,5	25,3
25	22	23,5	25,4



Obrázek č. 12: Praestol 852BC 0,5% roztok.



Graf č. 1: Flokulační činidlo Praestol 852BC 0,5% roztok.

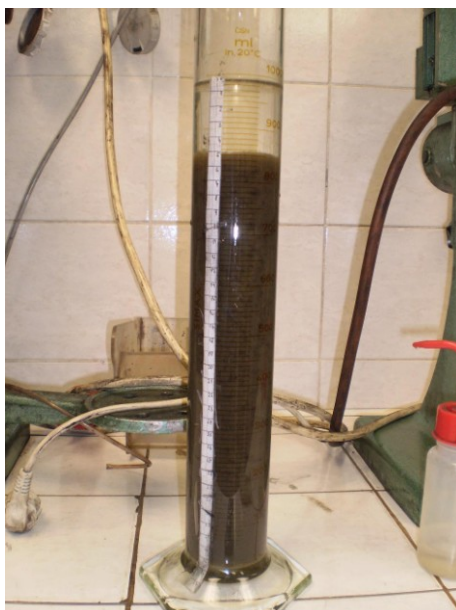
Flokulační činidlo Praestol 852BC 0,5% roztok začal na kal hned působit. Vločky se vytvořili již u prvního přelití a zůstaly stabilní a pevné i po desátém přelití. Vyčerená voda byla průhledná a nenesla známky zbytků flokulačního činidla, ani zbytků kalu. Jak je vidět v grafu č. 1, tak se zvyšující dávkou flokulačního činidla se zvyšuje i sedimentační rychlost kalu (vytvořených vloček).

5.2.2. Flokulační činidlo Praestol 2515

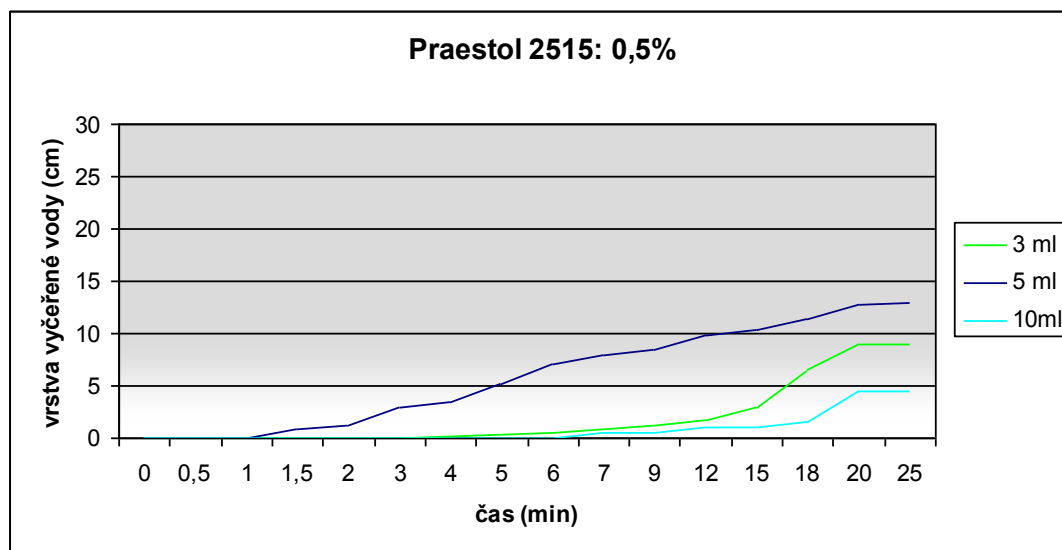
Množství činidla: 3 ml, 5 ml, 10 ml
 Koncentrace: 0,5%
 Objem kalu: 1000 ml
 Zředění: 1:1 (500 ml vody a 500 ml kalu)

Tabulka č. 4: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 2515 0,5% roztok.

Flokulační činidlo: Praestol 2515			
Koncentrace: 0,5%			
čas (min)	3 ml	5 ml	10ml
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	0	0	0
1,5	0	0,8	0
2	0	1,2	0
3	0	3	0
4	0,2	3,4	0
5	0,4	5,2	0
6	0,6	7,1	0
7	0,9	7,9	0,5
9	1,2	8,5	0,5
12	1,8	9,9	1
15	2,9	10,3	1
18	6,5	11,4	1,5
20	8,9	12,8	4,5
25	9	13	4,5



Obrázek č. 13: Praestol 2515 0,5% roztok.



Graf č. 2: Flokulační činidlo Praestol 2515 0,5% roztok.

Při použití flokulačního činidla Praestol 2515 0,5% roztoku se vytvořila vločka až u třetího přelití, ale byla méně stabilní a při osmém přelití se začala rozbíjet. Vločky byly méně hutné, a proto byl nástup sedimentace pomalý. Vyčištěná voda byla průhledná a nebyly v ní známky zbytků flokulačního činidla. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při dávkování 5 ml flokulačního činidla, jak je vidět v grafu č. 2.

5.2.3. Flokulační činidlo Praestol K232L

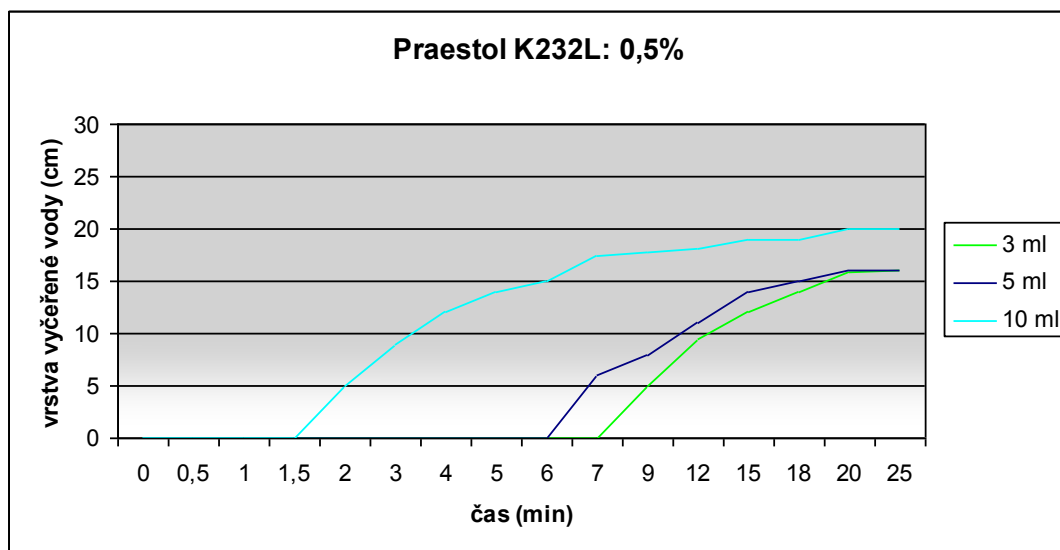
Množství činidla:	3 ml, 5 ml, 10 ml
Koncentrace:	0,5%
Objem kalu:	1000 ml
Zředění:	1:1 (500 ml vody a 500 ml kalu)

Tabulka č. 5: Výsledky sedimentačních testů – Praestol K232L 0,5% roztok.

Flokulační činidlo: Praestol K232L			
Koncentrace: 0,5%			
čas (min)	3 ml	5 ml	10ml
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	0	0	0
1,5	0	0	0
2	0	0	5
3	0	0	9
4	0	0	12
5	0	0	14
6	0	0	15
7	0	6	17,5
9	5	8	17,7
12	9,5	11	18,1
15	12	14	19
18	14	15	19
20	15,9	16	20
25	16	16	20



Obrázek č. 14: Praestol K232L 0,5% roztok.



Graf č. 3: Flokulační činidlo Praestol K232L 0,5% roztok.

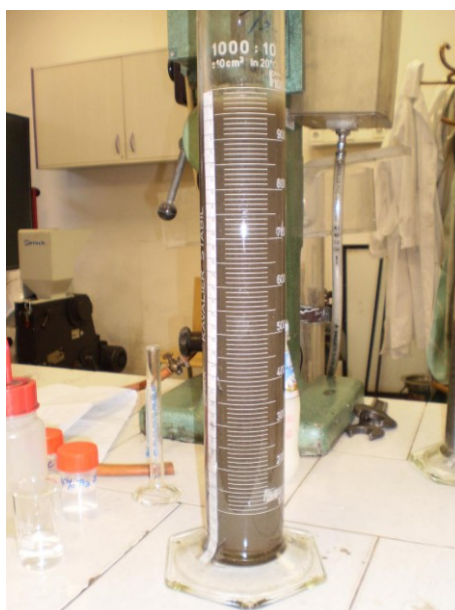
Při použití flokulačního činidla Praestol K232L 0,5% roztoku se vytvořily velmi hutné a pevné vločky už při prvním přelití a byly pevné a stabilní i po desátém přelití. Po přelití do skleněného válce měly vločky tendenci plavat, proto je u tohoto činidla nástup sedimentace opožděný. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při dávkování 10 ml flokulačního činidla, ovšem vyčištěná voda byla zakalená zbytkem flokulačního činidla.

5.2.4. Flokulační činidlo Praestol 2935/74

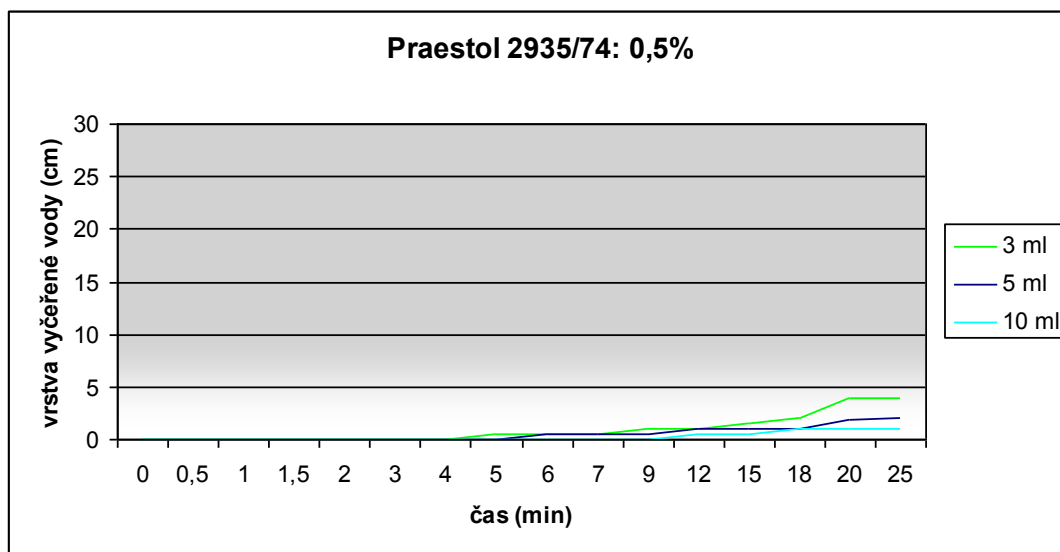
Množství činidla:	3 ml, 5 ml, 10 ml
Koncentrace:	0,5%
Objem kalu:	1000 ml
Zředění:	1:1 (500 ml vody a 500 ml kalu)

Tabulka č. 6: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 2935/74 0,5% roztok.

Flokulační činidlo: Praestol 2935/74			
Koncentrace: 0,5%			
čas (min)	3 ml	5 ml	10ml
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	0	0	0
1,5	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0,5	0	0
6	0,5	0,5	0
7	0,5	0,5	0
9	1	0,5	0
12	1	1	0,5
15	1,5	1	0,5
18	2	1	1
20	4	1,9	1
25	4	2	1



Obrázek č. 15: Praestol 2935/74 0,5% roztok.



Graf č. 4: Flokulační činidlo Praestol 2935/74 0,5% roztok.

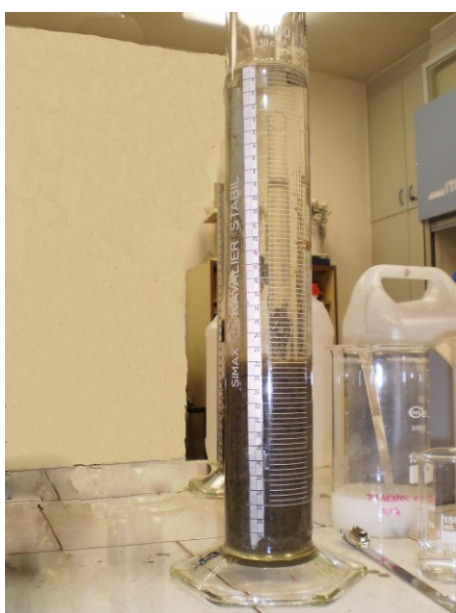
Po použití flokulačního činidla Praestol 2935/74 0,5% roztoku nedošlo k vytvoření vloček. Z dosažených výsledků je zřejmé, že toto činidlo má spíše potlačující účinek sedimentace. Při vyšší dávce flokulačního činidla se dosáhlo horších výsledků, jak je zřejmé z grafu č. 4.

5.2.5. Flokulační činidlo Praestol 852BC

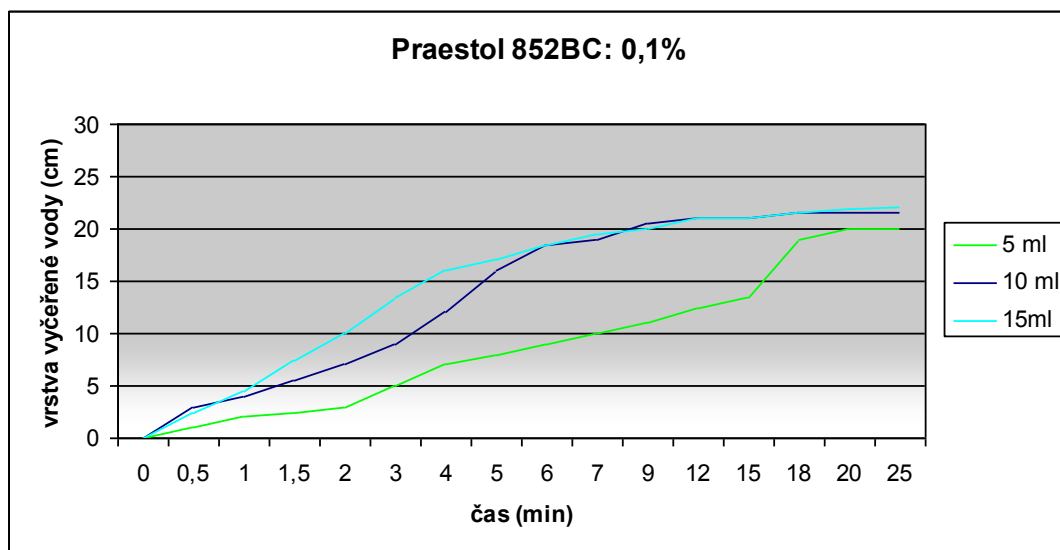
Množství činidla:	5 ml, 10 ml, 15 ml
Koncentrace:	0,1%
Objem kalu:	1000 ml
Zředění:	1:1 (500 ml vody a 500 ml kalu)

Tabulka č. 7: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 852BC 0,1% roztok.

Flokulační činidlo: Praestol 852BC			
Koncentrace: 0,1%			
čas (min)	5 ml	10 ml	15 ml
0	0	0	0
0,5	1	3	2,5
1	2	4	4,5
1,5	2,5	5,5	7,5
2	3	7	10
3	5	9	13,5
4	7	12	16
5	8	16	17
6	9	18,5	18,5
7	10	19	19,5
9	11	20,5	20
12	12,5	21	21
15	13,5	21	21
18	19	21,5	21,5
20	20	21,5	21,9
25	20	21,5	22



Obrázek č. 16: Praestol 852BC 0,1% roztok.



Graf č. 5: Flokulační činidlo Praestol 852BC 0,1% roztok.

Flokulační činidlo Praestol 852BC 0,1% roztok působil na kal okamžitě. Vločka se vytvořila již při prvním přelití. Stejně jako u 0,5% roztoku je vidět, že s přibývajícím dávkou flokulačního činidla roste také sedimentační účinek. Vyčeřená voda byla průhledná a nenesla známky zbytků flokulačního činidla.

5.2.6. Flokulační činidlo Praestol 2515

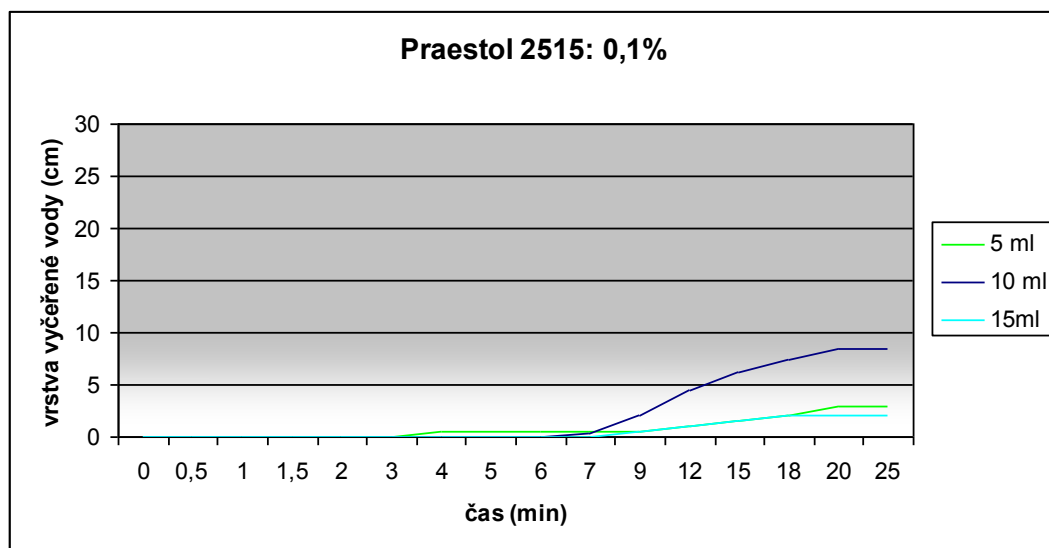
Množství činidla:	5 ml, 10 ml, 15 ml
Koncentrace:	0,1%
Objem kalu:	1000 ml
Zředění:	1:1 (500 ml vody a 500 ml kalu)

Tabulka č. 8: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 2515 0,1% roztok.

Flokulační činidlo: Praestol 2515			
Koncentrace: 0,1%			
čas (min)	5 ml	10 ml	15 ml
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	0	0	0
1,5	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0,5	0	0
5	0,5	0	0
6	0,5	0	0
7	0,5	0,4	0
9	0,5	2	0,5
12	1	4,5	1
15	1,5	6,2	1,5
18	2	7,5	2
20	2,9	8,5	2,1
25	3	8,5	2,1



Obrázek č. 17: Praestol 2515 0,1% roztok.



Graf č. 6: Flokulační činidlo Praestol 2515 0,1% roztok.

Při použití flokulačního činidla Praestol 2515 0,1% roztoku se struktura vloček vytvořila až při pátém přelití, ale vločka nebyla dostatečně stabilní a postupně ztrácěla na své pevnosti. Výsledky ukazují, že nejlepší sedimentace proběhla při dávkování 10 ml flokulačního činidla. Vyčerená voda byla průhledná, bez zbytků flokulačního činidla.

5.2.7. Flokulační činidlo Praestol K232L

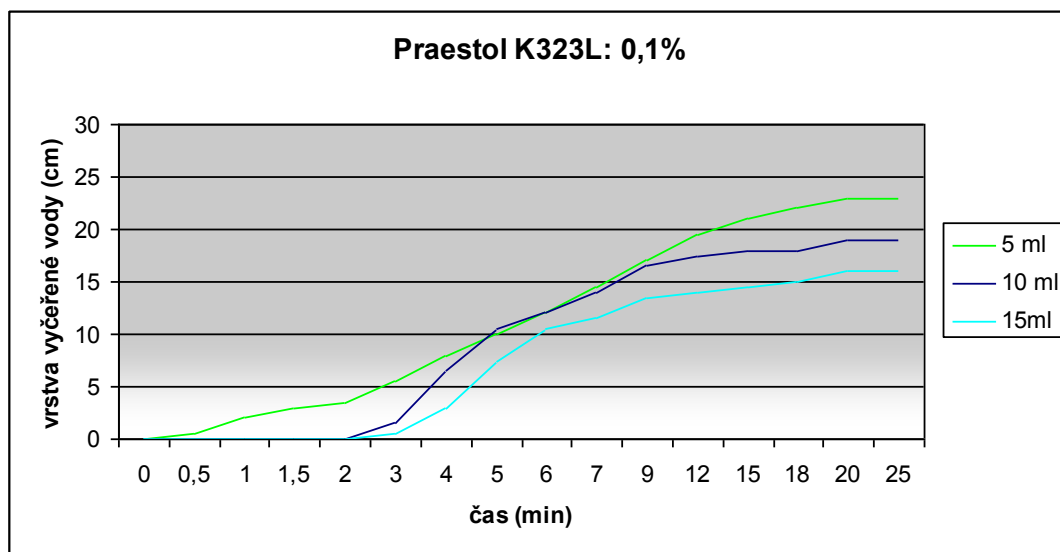
Množství činidla: 5 ml, 10 ml, 15 ml
Koncentrace: 0,1%
Objem kalu: 1000 ml
Zředění: 1:1 (500 ml vody a 500 ml kalu)

Tabulka č. 9: Výsledky sedimentačních testů – Praestol K232L 0,1% roztok.

Flokulační činidlo: Praestol K232L			
Koncentrace: 0,1%			
čas (min)	5 ml	10 ml	15 ml
0	0	0	0
0,5	0,5	0	0
1	2	0	0
1,5	3	0	0
2	3,5	0	0
3	5,5	1,5	0,5
4	8	6,5	3
5	10	10,5	7,5
6	12	12	10,5
7	14,5	14	11,5
9	17	16,5	13,5
12	19,5	17,5	14
15	21	18	14,5
18	22	18	15
20	23	18,9	16
25	23	19	16



Obrázek č. 18: Praestol K232L 0,1% roztok.



Graf č. 7: Flokulační činidlo Praestol K232L 0,1% roztok.

Flokulační činidlo Praestol K232L 0,1% roztok vytvořilo pevné a stálé vločky už při prvním přelití. Při dávkách 10 a 15 ml flokulačního činidla měly vločky tendenci plavat, ale při nižší dávce, 5 ml, tento nežádoucí účinek zmizel. Při této dávce dosaženo nejlepších výsledků, ve vyčištěné vodě již nebyly známky zbytků flokulačního činidla, jako tomu bylo při vyšších dávkách.

5.2.8. Flokulační činidlo Praestol 2935/74

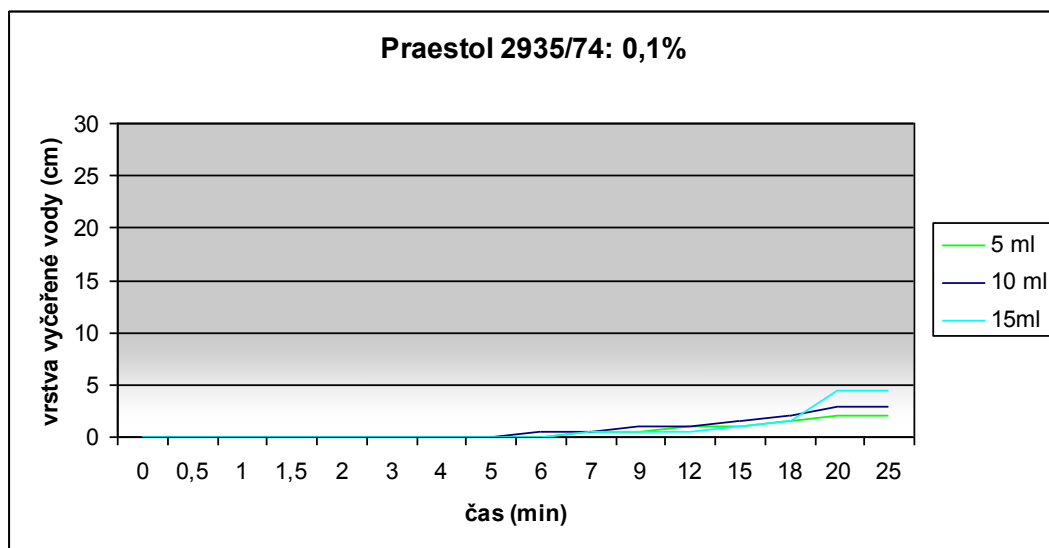
Množství činidla:	5 ml, 10 ml, 15 ml
Koncentrace:	0,1%
Objem kalu:	1000 ml
Zředění:	1:1 (500 ml vody a 500 ml kalu)

Tabulka č. 10: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 2935/74 0,1% roztok.

Flokulační činidlo: Praestol 2935/74			
Koncentrace: 0,1%			
čas (min)	5 ml	10 ml	15 ml
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	0	0	0
1,5	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0,5	0
7	0,5	0,5	0,5
9	0,5	1	0,5
12	1	1	0,5
15	1	1,5	1
18	1,5	2	1,5
20	2	3	4,5
25	2	3	4,5



Obrázek č. 19: Praestol 2935/74 0,1% roztok.



Graf č. 8: Flokulační činidlo Praestol 2935/74 0,1% roztok.

Po přidání flokulačního činidla Praestol 2935/74 0,1% roztoku se vločky nevytvořily ani po desátém přelití. K sedimentaci došlo až po uplynutí několika minut. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při dávce 15 ml flokulačního činidla.

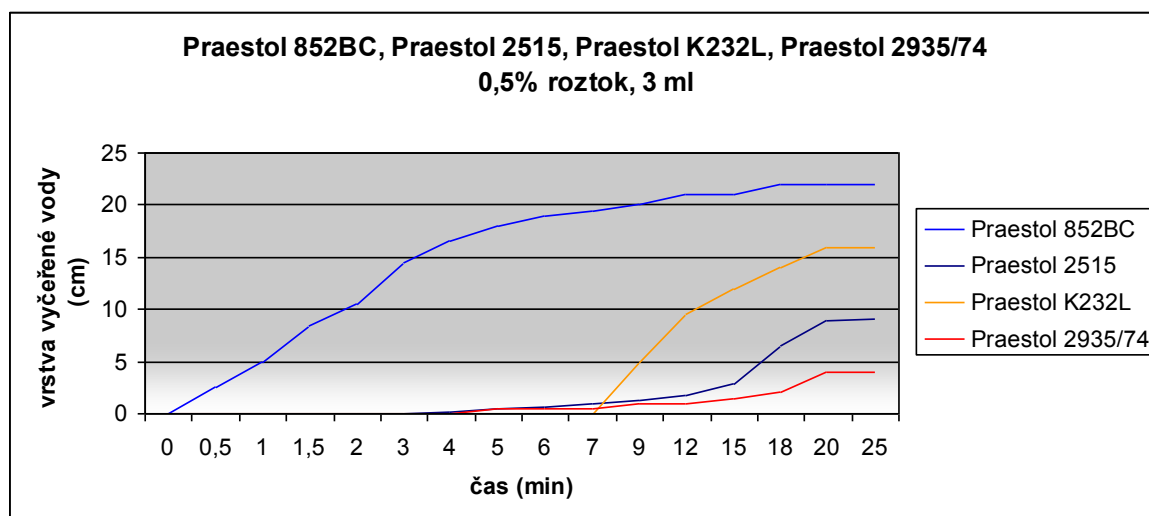
5.3. Vyhodnocení výsledků

V následující části je uvedeno srovnání získaných výsledků v závislosti na koncentraci a dávce daných flokulačních činidel.

Z výsledků sedimentačních testů, uvedených v tabulce č. 11 a grafu č. 9 lze konstatovat, že při koncentraci 0,5% flokulačního činidla a dávce 3 ml, měly nejlepší sedimentační vlastnosti vločky vytvořené činidlem Praestol 852BC. Hodnota vyčištěné vody u tohoto činidla dosáhla 22 cm. Flokulační činidlo Praestol K232L při této dávce mělo po konečných 25 minutách hladinu vyčištěné vody 16 cm, ale sedimentace vloček nastala až po 7 minutách. Flokulační činidlo Praestol 2515 dosáhlo 9 cm vyčištěné vody a nejhorší výsledky pak mělo flokulační činidlo Praestol 2935/74, když dosáhl pouze 4 cm vyčištěné vody.

Tabulka č. 11: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 3 ml.

Flokulační činidlo	Praestol 852BC	Praestol 2515	Praestol K232L	Praestol 2935/74
Koncentrace	0,5%			
čas (min)	3 ml	3 ml	3 ml	3 ml
0	0	0	0	0
0,5	2,5	0	0	0
1	5	0	0	0
1,5	8,5	0	0	0
2	10,5	0	0	0
3	14,5	0	0	0
4	16,5	0,2	0	0
5	18	0,4	0	0,5
6	19	0,6	0	0,5
7	19,5	0,9	0	0,5
9	20	1,2	5	1
12	21	1,8	9,5	1
15	21	2,9	12	1,5
18	22	6,5	14	2
20	21,9	8,9	15,9	4
25	22	9	16	4



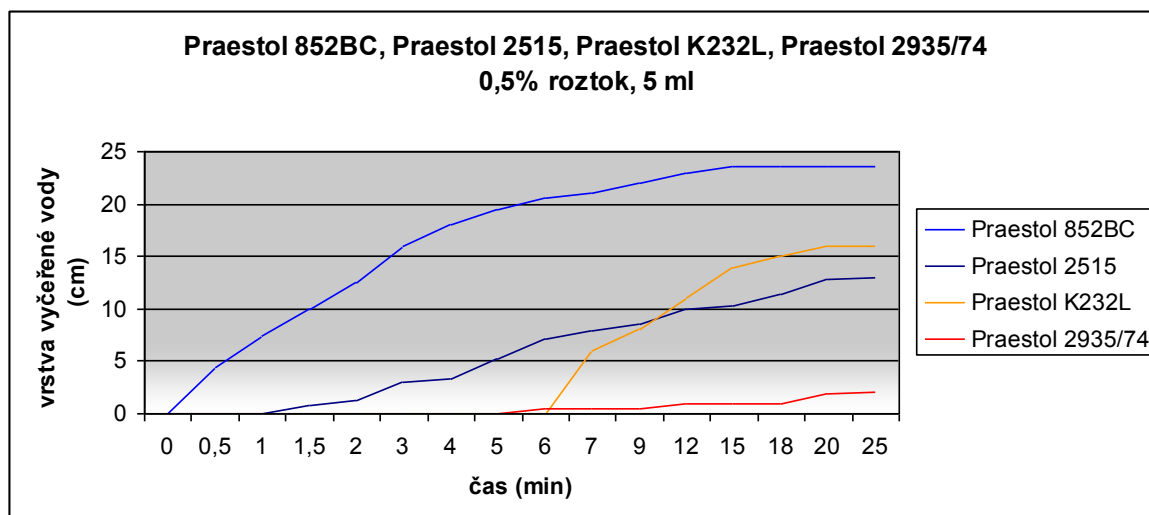
Graf č. 9: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 3 ml.

Z výsledků uvedených v tabulce č. 12 a grafu č. 10 lze říci, že při zvýšení dávky flokulačního činidla na 5 ml se zvýšila i sedimentační vlastnost vloček vytvořených flokulačním činidlem Praestol 852BC. Hladina vyčiřené vody zde dosáhla 23,5 cm. Flokulační činidlo Praestol K232L mělo konečné výsledky stejné jako u dávky 3 ml, ovšem sedimentace vloček nastala po 6 minutách. Flokulační

čínidlo Praestol 2515 mělo při této dávce o něco lepší výsledky než při dávce 3 ml. Konečná hladina vyčiřené vody byla 13 cm. Flokulační čínidlo Praestol 2935/74 dosáhlo opět nejhoršího výsledku a to 2 cm vyčiřené vody.

Tabulka č. 12: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka čínidla 5 ml.

Flokulační čínidlo	Praestol 852BC	Praestol 2515	Praestol K232L	Praestol 2935/74
Koncentrace	0,5%			
čas (min)	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml
0	0	0	0	0
0,5	4,5	0	0	0
1	7,5	0	0	0
1,5	10	0,8	0	0
2	12,5	1,2	0	0
3	16	3	0	0
4	18	3,4	0	0
5	19,5	5,2	0	0
6	20,5	7,1	0	0,5
7	21	7,9	6	0,5
9	22	8,5	8	0,5
12	23	9,9	11	1
15	23,5	10,3	14	1
18	23,5	11,4	15	1
20	23,5	12,8	16	1,9
25	23,5	13	16	2

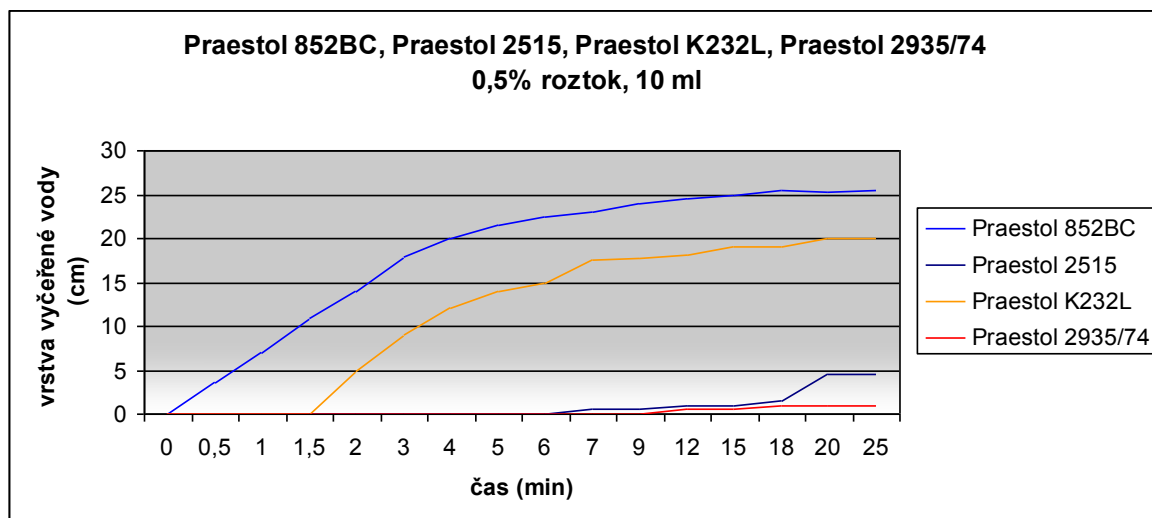


Graf č. 10: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka čínidla 5 ml.

Při dávkování 10 ml flokulačního činidla na litr kalu mělo opět nejlepší výsledky flokulační činidlo Praestol 852BC. Konečná hladina vyčiřené vody byla 25,4 cm. Což lze pozorovat v tabulce č. 13 a grafu č. 11. Flokulační činidlo Praestol K232L se ukázalo jako druhé nejlepší, když hladina vyčiřené vody dosáhla 20 cm. Při této dávce ovšem, jak už bylo uvedeno, byla vyčiřená voda zakalená zbytky flokulačního činidla, což ukazuje na předávkování činidlem. Flokulační činidlo Praestol 2515 mělo při dávce 10 ml horší výsledky než při nižší dávce. Hladina vyčiřené vody byla pouze 4,5 cm. Flokulační činidlo Praestol 2935/74 mělo nejhorší výsledek a to 1 cm vyčiřené vody.

Tabulka č. 13: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 10 ml.

Flokulační činidlo	Praestol 852BC	Praestol 2515	Praestol K232L	Praestol 2935/74
Koncentrace	0,5%			
čas (min)	10 ml	10 ml	10 ml	10 ml
0	0	0	0	0
0,5	3,5	0	0	0
1	7	0	0	0
1,5	11	0	0	0
2	14	0	5	0
3	18	0	9	0
4	20	0	12	0
5	21,5	0	14	0
6	22,5	0	15	0
7	23	0,5	17,5	0
9	24	0,5	17,7	0
12	24,5	1	18,1	0,5
15	25	1	19	0,5
18	25,5	1,5	19	1
20	25,3	4,5	20	1
25	25,4	4,5	20	1

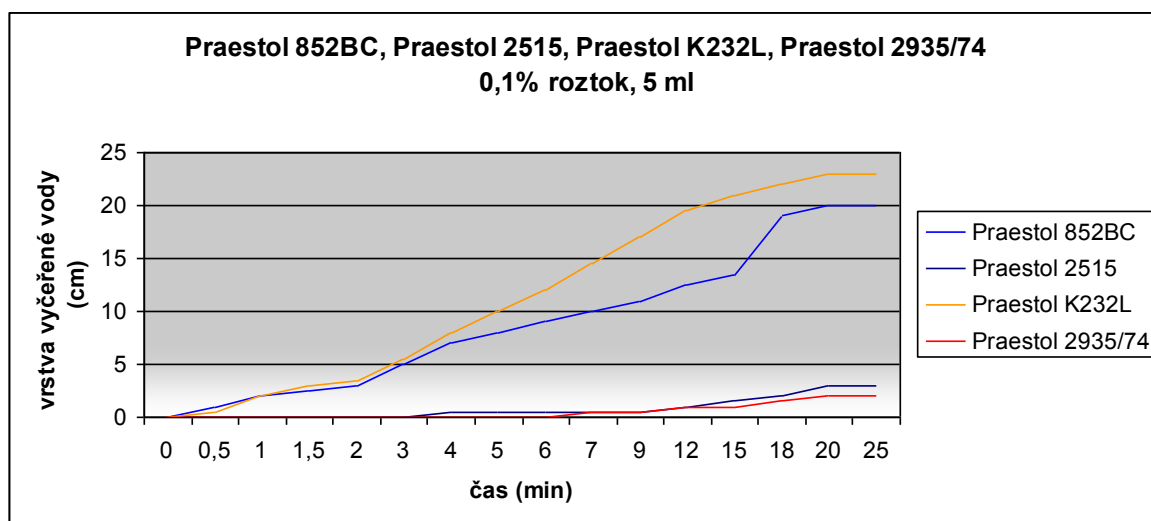


Graf č. 11: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 10 ml.

Z výsledků uvedených v tabulce č. 14 a grafu č. 12, kde jsou uvedeny hodnoty při koncentraci 0,1% flokulačního činidla, lze usoudit, že nejlepšího výsledku dosáhlo flokulační činidlo Praestol K232L. Konečná hodnota vyčištěné vody byla 23 cm. Vyčištěná voda byla průhledná bez známek zbytků flokulačního činidla, jako to bylo při koncentraci 0,5% flokulačního činidla. Praestol 852BC mělo druhý nejlepší výsledek, když hladina vyčištěné vody byla 20 cm. Hodnota vyčištěné vody při použití flokulačního činidla Praestol 2515 byla 3 cm a u flokulačního činidla Praestol 2935/74 jen 2 cm. Což ve srovnání s prvními dvěmi jsou zanedbatelné hodnoty.

Tabulka č. 14: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 5 ml.

Flokulační činidlo	Praestol 852BC	Praestol 2515	Praestol K232L	Praestol 2935/74
Koncentrace	0,1%			
čas (min)	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml
0	0	0	0	0
0,5	1	0	0,5	0
1	2	0	2	0
1,5	2,5	0	3	0
2	3	0	3,5	0
3	5	0	5,5	0
4	7	0,5	8	0
5	8	0,5	10	0
6	9	0,5	12	0
7	10	0,5	14,5	0,5
9	11	0,5	17	0,5
12	12,5	1	19,5	1
15	13,5	1,5	21	1
18	19	2	22	1,5
20	20	2,9	23	2
25	20	3	23	2



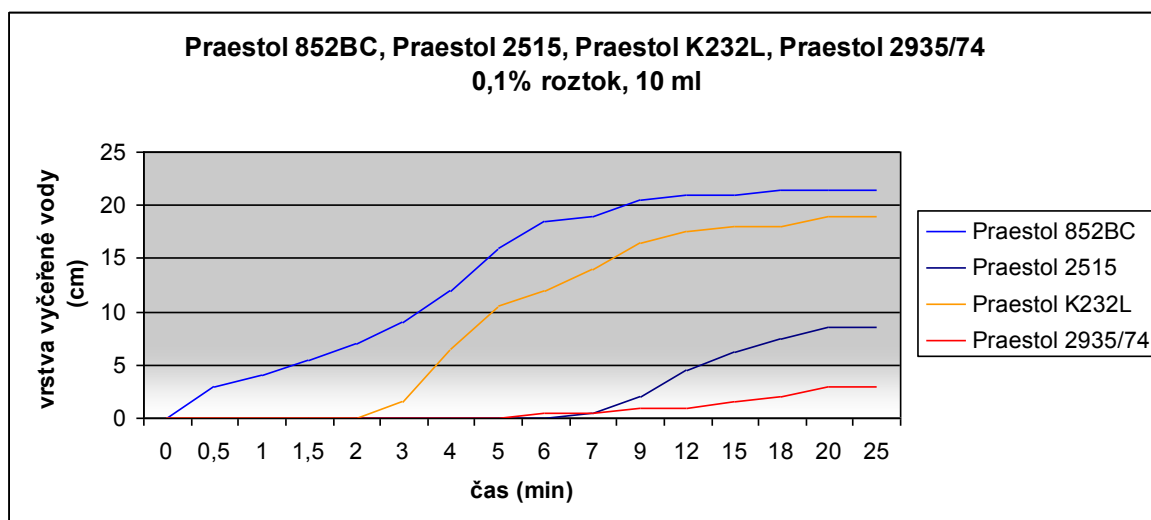
Graf č. 12: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 5 ml.

Z výsledků uvedených v tabulce č. 15 a grafu č. 13 je zřejmé, že při zvýšení dávky na 10 ml 0,1% roztoku flokulačního činidla, dosáhlo nejlepšího výsledku flokulační činidlo Praestol 852BC, kdy konečná hodnota vyčerené vody byla 21,5 cm. To poukazuje na to, že se zvýšením dávky flokulačního činidla se zvyšuje sedimentační vlastnost vloček. Naopak u flokulačního činidla Praestol K232L se zvýšením dávky se snižuje sedimentační rychlost. Hodnota vyčerené vody byla 19

cm. Flokulační činidlo Praestol 2515 mělo při vyšší dávce mnohem lepší výsledky než při dávce 5 ml. Konečná hladina vyčiřené vody byla 8,5 cm. Flokulační činidlo Praestol 2935/74 dosáhlo nejhoršího výsledku a to 3 cm vyčiřené vody.

Tabulka č. 15: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 10 ml.

Flokulační činidlo	Praestol 852BC	Praestol 2515	Praestol K232L	Praestol 2935/74
Koncentrace	0,1%			
čas (min)	10 ml	10 ml	10 ml	10 ml
0	0	0	0	0
0,5	3	0	0	0
1	4	0	0	0
1,5	5,5	0	0	0
2	7	0	0	0
3	9	0	1,5	0
4	12	0	6,5	0
5	16	0	10,5	0
6	18,5	0	12	0,5
7	19	0,4	14	0,5
9	20,5	2	16,5	1
12	21	4,5	17,5	1
15	21	6,2	18	1,5
18	21,5	7,5	18	2
20	21,5	8,5	18,9	3
25	21,5	8,5	19	3

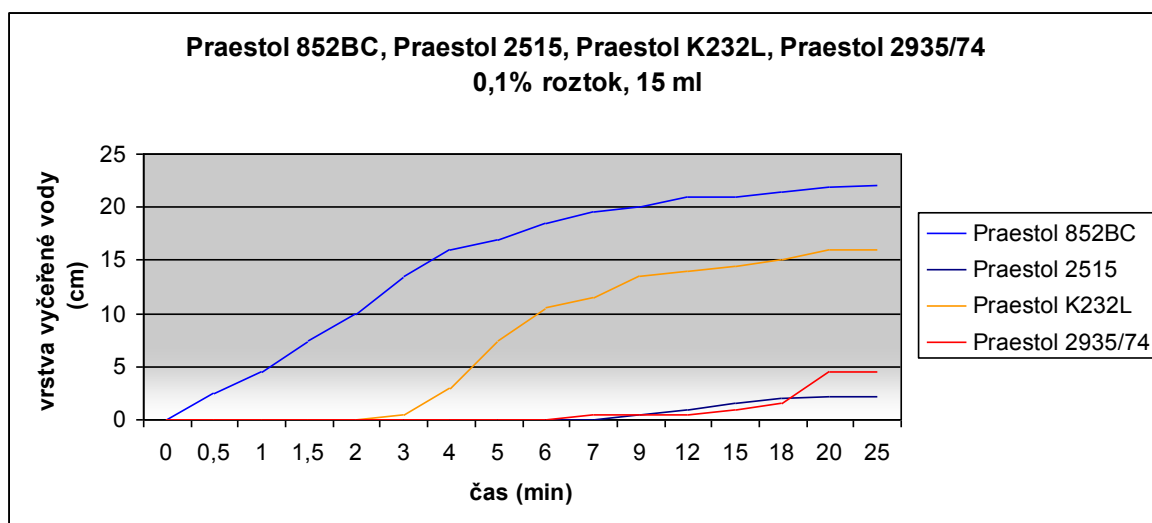


Graf č. 13: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 10 ml.

Z výsledků uvedených v tabulce č. 16 a grafu č. 14 lze říci, že při zvýšení dávky na 15 ml 0,1% roztoku flokulačního činidla se opět zvýšila sedimentační schopnost vloček vytvořených flokulačním činidlem Praestol 852BC. Hladina vyčeřené vody byla 22 cm. Při použití flokulačního činidla Praestol K232L se sedimentační rychlost opět snížila. Konečná hodnota vyčeřené vody byla 16 cm. Praestol 2935/74 dosáhl po 25 minutách 4,5 cm vyčeřené vody. Flokulační činidlo Praestol 2515 mělo nejhorší výsledek a to 2,1 cm vyčeřené vody.

Tabulka č. 16: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 15 ml.

Flokulační činidlo	Praestol 852BC	Praestol 2515	Praestol K232L	Praestol 2935/74
Koncentrace	0,1%			
čas (min)	15 ml	15 ml	15 ml	15 ml
0	0	0	0	0
0,5	2,5	0	0	0
1	4,5	0	0	0
1,5	7,5	0	0	0
2	10	0	0	0
3	13,5	0	0,5	0
4	16	0	3	0
5	17	0	7,5	0
6	18,5	0	10,5	0
7	19,5	0	11,5	0,5
9	20	0,5	13,5	0,5
12	21	1	14	0,5
15	21	1,5	14,5	1
18	21,5	2	15	1,5
20	21,9	2,1	16	4,5
25	22	2,1	16	4,5



Graf č. 14: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 15 ml.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo otestovat různá flokulační činidla při úpravě odpadní vody z ČOV Hlučín-Jasénky. Byly testovány kationaktivní flokulační činidla Praestol 852BC a Praestol K232L a anionaktivní flokulační činidla Praestol 2515 a Praestol 2935/74. Bylo zjištěno, že na kal z ČOV Hlučín podstatně lépe působí kationaktivní činidla. Nejlepších hodnot 24,4 cm dosáhlo flokulační činidlo Praestol 852BC, ale při nejvyšším dávkování 10 ml 0,5 % flokulačního činidla na litr kalu. Flokulační činidlo Praestol K232L dosáhlo nejvyšší hodnoty 23 cm vyčeřené vody, ale na rozdíl od Praestolu 852BC těchto hodnot dosáhlo při nejnižší dávce 5 ml 0,1% flokulačního činidla na litr kalu. Vzhledem k vysokým cenám flokulačních činidel je spotřeba velmi důležitým kritériem. Z výsledků je tedy patrné, že flokulační činidlo Praestol K232L je možné použít jako nejvhodnější pro zahuštění kalu z ČOV Hlučín-Jasénky.

Seznam použité literatury

- 1) HUBÁČKOVÁ, Jana; ERBEN, Vladimír. *Využití flotace při procesu úpravy vody*. 1. vyd. Praha : Výzkumný ústav vodohospodářský ve Státním zemědělském nakladatelství, 1989. 120 s.
- 2) MWH ; REVISED BY JOHN C. CRITTENDEN ... [ET AL.]. *Water treatment : principles and design*. 2nd ed. Spojené státy americké: Wiley, c2005. ISBN 0-471-11018-3 (váz.).
- 3) ŠPALDON, František. *Úprava nerastných surovín*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1986, 480 s.
- 4) VIDLÁŘ, Jiří; HODEK, Oldřich. *Základy úpravy užitkových surovin*. 1. vydání. Ostrava : Vysoká škola Báňská v Ostravě, 1985. 423 s.
- 5) ŘEPKA, Vlastimil. *Pomocné procesy v úpravnictví* [online]. Ostrava, 2005 [cit. 2012-03-21]. Dostupné z:
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:gcofKT4S-kIJ:ondra.bazarpocitacu.cz/Pomocne%2520procesy/POMOCN%C3%89%2520PROCESY%2520V%2520%C3%9APRAVNICTV%C3%8D1.ppt+teorie+zahu%C5%A1%C5%A5ov%C3%A1n%C3%AD+suspenze&cd=5&hl=cs&ct=clnk&gl=c>
z. VŠB-TU Ostrava.
- 6) BARTOVSKÁ, Ludmila a Marie ŠÍŠKOVÁ. Agregace. *Integrovaný systém elektronických studijních opor VŠCHT Praha* [online]. Eva Dibuszová. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005[cit. 2012-03-21]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/agregace.html
- 7) NOVÁČEK, Jiří. *Technologie úpravy uhlí II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2000, 127 s. ISBN 80-7078-831-3.
- 8) Flocculation : A New Way to Treat the Waste Water. *Journal of Physical Sciences* [online]. 2006, č. 10, s. 35 [cit. 2012-03-21]. Dostupné z:
<http://vidyasagar.ac.in/journal/Maths/vol10/JPS10art9.pdf>

Lucie Kolodějová: Výzkum flokulačních činidel při úpravě odpadní vody na ČOV Hlučín

- 9) PITTER, Pavel, Ferdinand TUČEK, Jan CHUDOBA a Ladislav ŽÁČEK.
Laboratorní metody v technologii vody. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983, 304 s.
- 10) KMEŤ, Stanislav. *Flotácia*. 1. vydanie. Bratislava : Alfa, 1992. 352 s. ISBN 80-05-00971-2.
- 11) FEČKO, Peter. *Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, 149 s. ISBN 80-7078-921-2.
- 12) ŽÁČEK, Ladislav. *Chemické a technologické procesy úpravy vody*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, c1999, 239 s. ISBN 80-86020-22-2.
- 13) DOBROVOLNÁ, Lada. Charakteristika města Hlučín. In: *Město Hlučín - oficiální stránky města* [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://www.hlucin.cz/o-meste/charakteristika-mesta-hlucina.html>
- 14) Provozní řád čistírny odpadních vod Hlučín Jasénky.
- 15) BINDZAR, Jan et al. *Základy úpravy a čištění vod*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická [Praha], 2009, 251 s. ISBN 978-80-7080-729-3.
- 16) ŠTÍCHA, V., BULÍČEK, J., HÁLA, Z.: *Odvádění a čištění odpadních vod ze sídlišť*. Praha: SNTL, 1970. 464 s. ISBN: 86240-606-72.
- 17) SÁRKA, Tomáš a Vojtech DIRNER. *Modul 4: Ochrana vod* [online]. Ostrava [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://www.hgf.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/hgf/instituty-a-pracoviste/cs/okruhy/546/studijni-materialy/EV-modul4.pdf>. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- 18) RACLAVSKÁ, Helena. *Technologie zpracování a využití kalů z ČOV*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 171 s. ISBN 978-80-248-1600-5.
- 19) LYČKOVÁ, Barbora, Peter FEČKO a Radmila KUČEROVÁ. *Zpracování kalů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 87 s. ISBN 978-80-248-1921-1.
- 20) Objekty VaK. *Vodovody a kanalizace Hlučín* [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://www.vakhlucin.cz/gallery.php?IID=3>

Lucie Kolodějová: Výzkum flokulačních činidel při úpravě odpadní vody na ČOV Hlučín

- 21) Fotogalerie: ČOV Hlučín - Jasénky Zpět do fotogalerie. *KONEKO, spol. s r.o. - projektová a inženýrská činnost ve vodním hospodářství* [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: http://www.koneko.cz/fotogalerie/38_cov-hlucin-jasenky_1.html
- 22) TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987, 436 s.
- 23) TUČEK, Ferdinand, Jan CHUDOBA a Zdeněk KONÍČEK. *Základní procesy a výpočty v technologii vody*. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988, 633 s.
- 24) MALÝ, Josef. *Chemie a technologie vody*. Vyd. 1. Brno: Nakladatelství VUT, 1993, 140 s. ISBN 80-214-0507-4.
- 25) Dekantační odstředivky. In: *PBS Velká Bíteš, a.s.* [online]. [cit. 2012-03-31]. Dostupné z: http://www.pbsvb.cz/dsn_dekantacky.php

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Elektrická dvojvrstva.	3
Obrázek č. 2: Koagulace x flokulace.	6
Obrázek č. 3: Působení kationového polyelektrolytu na negativní tuhé částice.	10
Obrázek č. 4: Přemostňující vazba polyaniontu na negativně nabitě tuhé částice.	11
Obrázek č. 5: Vazba orientovanými dipóly.	11
Obrázek č. 6: Struktura makromolekulárních látek.	12
Obrázek č. 7: Čistírna odpadních vod Hlučín – Jasénky.	15
Obrázek č. 8: Pravoúhlá, horizontálně protékaná usazovací nádrž.	17
Obrázek č. 9: Aktivační nádrž.	19
Obrázek č. 10: Proces vzniku kalu.	21
Obrázek č. 11: Odstředivka pro zahušťování kalů.	24
Obrázek č. 12: Praestol 852BC 0,5% roztok.	29
Obrázek č. 13: Praestol 2515 0,5% roztok.	30
Obrázek č. 14: Praestol K232L 0,5% roztok.	32
Obrázek č. 15: Praestol 2935/74 0,5% roztok.	34
Obrázek č. 16: Praestol 852BC 0,1% roztok.	36
Obrázek č. 17: Praestol 2515 0,1% roztok.	38
Obrázek č. 18: Praestol K232L 0,1% roztok.	40
Obrázek č. 19: Praestol 2935/74 0,1% roztok.	42

Seznam grafů

Graf č. 1: Flokulační činidlo Praestol 852BC 0,5% roztok.	29
Graf č. 2: Flokulační činidlo Praestol 2515 0,5% roztok.	31
Graf č. 3: Flokulační činidlo Praestol K232L 0,5% roztok.	33
Graf č. 4: Flokulační činidlo Praestol 2935/74 0,5% roztok.	35
Graf č. 5: Flokulační činidlo Praestol 852BC 0,1% roztok.	37
Graf č. 6: Flokulační činidlo Praestol 2515 0,1% roztok.	39
Graf č. 7: Flokulační činidlo Praestol K232L 0,1% roztok.	41
Graf č. 8: Flokulační činidlo Praestol 2935/74 0,1% roztok.	43
Graf č. 9: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 3 ml.	44
Graf č. 10: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 5 ml.	45
Graf č. 11: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 10 ml.	47
Graf č. 12: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 5 ml.	48
Graf č. 13: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 10 ml.	49
Graf č. 14: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 15 ml.	51

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Vztah stability a potenciálu	4
Tabulka č. 2: Základní provozní parametry anaerobní stabilizace.	22
Tabulka č. 3: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 852BC 0,5% roztok.	28
Tabulka č. 4: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 2515 0,5% roztok.	30
Tabulka č. 5: Výsledky sedimentačních testů – Praestol K232L 0,5% roztok.	32
Tabulka č. 6: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 2935/74 0,5% roztok.	34
Tabulka č. 7: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 852BC 0,1% roztok.	36
Tabulka č. 8: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 2515 0,1% roztok.	38
Tabulka č. 9: Výsledky sedimentačních testů – Praestol K232L 0,1% roztok.	40
Tabulka č. 10: Výsledky sedimentačních testů – Praestol 2935/74 0,1% roztok.	42
Tabulka č. 11: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 3 ml.	44
Tabulka č. 12: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 5 ml.	45
Tabulka č. 13: Výsledky flokulačních činidel 0,5% roztoku, dávka činidla 10 ml.	46
Tabulka č. 14: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 5 ml.	48
Tabulka č. 15: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 10 ml.	49
Tabulka č. 16: Výsledky flokulačních činidel 0,1% roztoku, dávka činidla 15 ml.	50